UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE BESTRAHLUNG VON ORBITATUMOREN BEI VERWENDUNG VERSCHIEDENER ELEKTRONENENERGIEN SOWIE ABSORBERMATERIALIEN ZUM LINSENSCHUTZ

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

vorgelegt von

Arno Högel

Saarbrücken

1973

1974

Aus dem Strahleninstitut der Universität des Saarlandes

Direktor: Professor Dr. med. F. Sommer

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE BESTRAHLUNG VON ORBITATUMOREN BEI VERWENDUNG VERSCHIEDENER ELEKTRONENENERGIEN SOWIE ABSORBERMATERIALIEN ZUM LINSENSCHUTZ

I N A U G U R A L D I S S E R T A T I O N

zur Erlangung der Doktorwürde der

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

1973

vorgelegt von

Arno Högel geb. am 28.11.44 in Quierschied

Dekan: Professor Dr. med. G. A. Jutzler

Referent: Professor Dr. med. F. Sommer

Die mündliche Prüfung wurde am 16. Januar 1974 abgelegt

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547310_0061

Inhaltsverzeichnis

Einführung

I Die Strahlenempfindlichkeit des Auges

II Die Strahlentherapie im Bereich des Auges

III Die Anwendung schneller Elektronen im Bereich des Auges

IV Versuchsanordnung und Durchführung der Messungen

1. Strahlung

2. Tubuskonstruktion

3. Messgerät

4. Messung der Ionendosis im Zentralstrahl in Plexiglas

5. Messungen in verschiedenen Ebenen im Wasserphantom

V Diskussion

VI Zusammenfassung

VII Literatur

Einführung

Schon in der frühesten Röntgenära wurden Strahlenwirkungen auf das Auge beobachtet. Bei Ärzten, Physikern, Technikern, die sich ohne damalige Kenntnis der biologischen Wirkung mit der Erforschung der neuen Strahlen beschäftigten, traten Veränderungen auf, welche wir heute als Strahlenschäden erkennen. Neben dem Verlust der Augenbrauen und Wimpern stellten sich entzündliche Symptome wie Blepharitiden, Konjunktivitiden und Lidoedeme ein. Auch Keratitiden wurden beobachtet. Am eindruckvollsten waren die Linsentrübungen. Die ersten eingehenden Untersuchungen und zwar sowohl klinisch wie pathologisch - anatomisch an Tier- und Menschenauge stammen von BIRCH - HIRSCHFELD, CHALUPECKY und HANS MEYER.

I Die Strahlenempfindlichkeit des Auges

Zur Prüfung der Strahlenempfindlichkeit des Auges wurden zahlreiche Tierversuche durchgeführt. An 1. Stelle wären hier die Untersuchungen von ROHRSCHNEIDER zu erwähnen. Der Autor fand, daß bei Einwirkung der Strahlen auf das Auge in erster Linie die Linse gefährdet ist. Konjunktiva, Hornhaut und Iris dagegen verhalten sich strahlenbiologisch wie die äußere Haut, ebenso die Netzhaut.

PETER hat Versuche veröffentlicht über die Wirkung fraktionierter Röntgenstrahlung, desgleichen haben ROHRSCHNEIDER und GLAUNER experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der fraktionierten und protrahiert-fraktionierten Röntgenbestrahlung auf die Linse des Kaninchenauges durchgeführt.

Ziel ihrer Untersuchungen war, festzustellen, welche Unterschiede in der Wirkung der einzeitigen Bestrahlung, der fraktioniert und protrahiert-fraktionierten Bestrahlung auf die Linse bestehen. Sie waren von einer Dosis ausgegangen, die mit Sicherheit Katarakt erzeugt, und zwar 1000 R. Dabei konnten sie feststellen, daß alle Tiere, die 1000 R und mehr erhielten, Linsenveränderungen aufwiesen. Die erzeugten Linsenschädigungen unterschieden sich lediglich dem Grade nach. Die Autoren haben die Schäden in 3 Stadien eingeteilt. Das Stadium I bestent in einer Verdickung der hinteren Linsennaht. Im Stadium II fanden sich mehr oder weniger ausgedehnte Trübungen im Bereiche der hinteren Rinde, manchmal auch vorn unter der Kapsel. Sie waren lediglich eine Weiterentwicklung des Stadium I.

Im Stadium III war es zur vollständigen Trübung der Linse gekommen. Auch bei Fraktionierung der Dosis von 1000 R wurden bleibende Veränderungen festgestellt. Es steht damit fest, daß in der Linse eine kumulative Wirkung stattfindet. Einmal gesetzte Schäden können nicht mehr ausgeglichen werden. Auch PETER fand, daß die Wirkung auf die Linse bei fraktionierter Bestrahlung etwas geringer war als bei einzeitiger Bestrahlung mit der gleichen Gesamtdosis. Ein weiterer wichtiger Faktor zur Feststellung der Linsenschädigung stellt die Latenzzeit dar. Man versteht darunter den Zeitabschnitt zwischen Abschluß der Bestrahlung und dem ersten Auftreten der Linsenschädigung. Die Untersuchungen von PETER, ROHRSCHNEIDER und GLAUNER haben ergeben, daß mit steigender Fraktionierung die Latenzzeit länger wird. Dies bestätigen

auch die Untersuchungen von COGAN und DREISLER, die Linsentrübungen nach sehr unterschiedlichen Zeitabschnitten gesehen haben. Sie betonen weiterhin, daß individuelle Faktoren bei der Empfindlichkeit der Linse eine Rolle spielen dürften.

POLITZER hat an Salamanderlarven Untersuchungen zur Entstehung der Röntgenkatarakt durchgeführt. Er fand, daß bei einer Röntgenstrahlendosis von 400 R und mehr die Linse der Salamanderlarven zugrunde ging, und zwar schwillt erst die Linse an, dann birst die Linsenkapsel an der Vorderseite, und die peripheren Linsenfasern treten in die vordere Augenkammer aus. Schließlich folgt auch der zentrale Teil der Linse nach und wird dort resorbiert. Von dem Autor wurde auch die Frage aufgeworfen,

ob es sich bei den Linsenschädigungen um direkte oder indirekte Strahlenwirkungen handelt, d.h. ob die Strahlen direkt auf die Linsenzellen einwirken, oder ob hier andere Faktoren eine Rolle spielen. Diese Frage konnten ALTER und LEINFELDER klären, die Kaninchenaugen unter Abdeckung mit Bleifilter bestrahlten. Sie fanden dabei, daß die typischen Linsentrübungen nur im Bereiche des exponierten Linsenabschnittes auftraten. Die direkte Wirkung der Röntgenstrahlen ist damit bewiesen.

Vielfach wird auf die große Variabilität der inviduellen Empfindlichkeit hingewiesen. Es werden Werte genannt zwischen 200 und 600 R. Leider sind diese Werte nicht immer zu vergleichen, da vielfach keine exakten Angaben darüber vorliegen, ob es sich bei der ange-

gebenen Dosis um die Einfallsdosis handelt oder um die absorbierte Dosis am bestrahlten Organ.

EHLING und AROKOWSKI, die Untersuchungen über die Entstehung von Strahlenschäden am Kaninchenauge in Abhängigkeit von der Dosis und Strahlenqualität durchgeführt haben, fanden, daß für die Schäden ausschließlich die an der Linse absorbierte Dosis entscheidend ist, nicht die Einfallsdosis und nicht die Strahlenqualität. Was die Latenzzeit anbelangt, bestätigen ihre Versuche, daß die Zeit bis zum Manifestwerden der Strahlenwirkung entsprechend der an der Linse absorbierten Dosis ist. Interessant war dabei die Feststellung, daß unterhalb 370 Rad bei Spaltlampenuntersuchungen keine Veränderung der Linse festzustellen war. Mit steigender absorbierter Dosis sank jedoch die Latenzzeit schnell. Im Dosisbereich

von 740 - 2500 Rad verlief die Latenzzeit kürzer und veränderte sich oberhalb 2500 Rad kaum noch. Bei 350 Rad zeichnet sich der Schwellenwert für die Linsentrübung ab. Die Diskrepanz in den Dosisangaben in der Literatur sehen die Autoren in dem unterschiedlichen Alter der für die Experimente verwendeten Kaninchen. Sie fanden weiterhin, daß neben Linsentrübungen Wachstumshemmungen auftraten. Selbst kleinste Dosen, die noch keine Linsentrübungen hervorriefen, führten zu Wachstumshemmungen. Ein Schwellenwert wurde dabei nicht beobachtet. Mit steigender Dosis stieg auch die Wachstumshemmung an und erreichte ihr Maximum bei 2200 Rad.

Die Ergebnisse der Tierversuche haben praktische Bedeutung. Alle Bestrahlungen im Bereiche der Orbita haben auf die große

Strahlenempfindlichkeit der Linse Rücksicht zu nehmen, denn die Linse ist der gefährdetste Teil des Auges.

II Strahlentherapie im Bereich des Auges

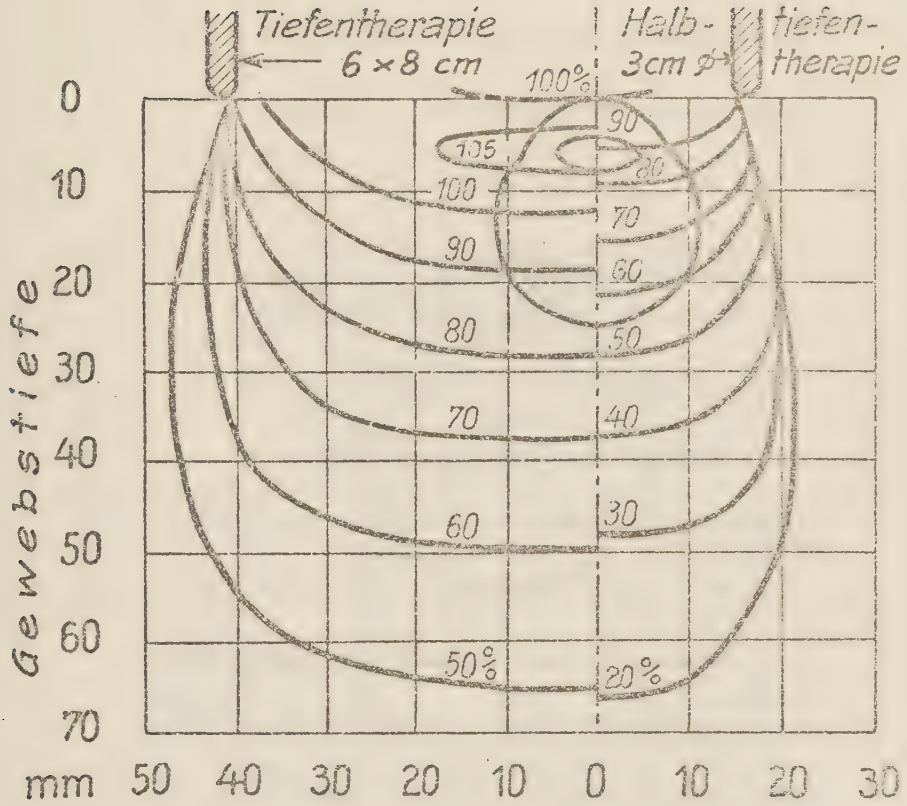
Von der Strahlentherapie im Bereich des Auges wird relativ wenig Gebrauch gemacht. Die Ursache ist in der berechtigten Sorge vor einer auftretenden Strahlenschädigung des Auges zu erblicken. Bei der Durchführung der Strahlenbehandlung im Bereich des Auges sind 2 Momente von Wichtigkeit,

1. ist infolge Bulbusentfernung oder verlorener Sehfähigkeit des Auges eine Linsenschonung nicht notwendig,
2. kommt es auf die Erhaltung der Sehfähigkeit an, d.h. es muß eine radiogene Linsenschädigung vermieden werden.

Es erscheint daher zunächst notwendig, die räumliche Dosisverteilung bei den verschiedenen Bestrahlungsmethoden aufzuzeigen.

Bei der konventionellen Tiefentherapie mit einer Strahlung von 18o kV und einer Feldgröße von 6 x 8 cm, Bedingungen, wie sie vielfach zur Anwendung kamen, wird das gesamte Auge einschließlich Umgebung homogen durchstrahlt. Die Linse wird dabei von der 1o5 % Isodose erfaßt. Auch bei direktem Strahleneinfall unter den Bedingungen der Halbtiefentherapie mit einem Bleiglastubus liegt die Linse noch im Bereich der 9o % Isodose. Diese Bestrahlungsmethoden kommen also nur dann in Betracht, wenn auf die Sehkraft des Auges keine Rücksicht genommen werden braucht. (Abb. 1)

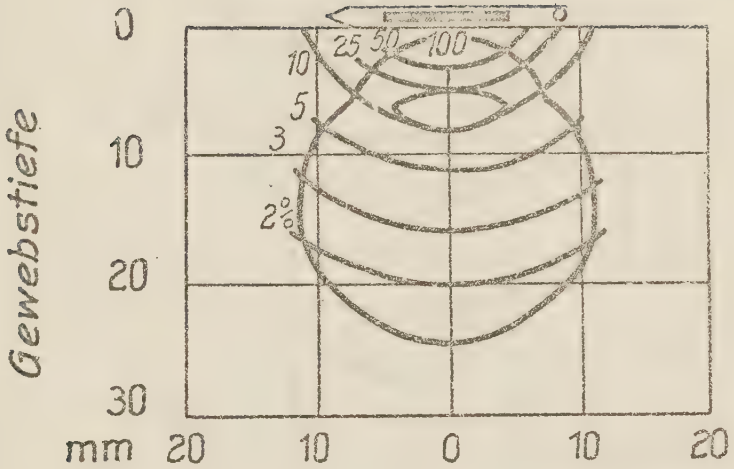
Beim Radium ist die räumliche Dosisverteilung im Vergleich zur Röntgentiefentherapie zwar günstiger, eine Abschirmung der harten Gammastrahlung ist aber nicht möglich. Außerdem ist die Applikation



Isodosen bei Bestrahlung des Auges mit Tiefentherapie - (links) und Halbtiefentherapie-bedingungen (rechts).

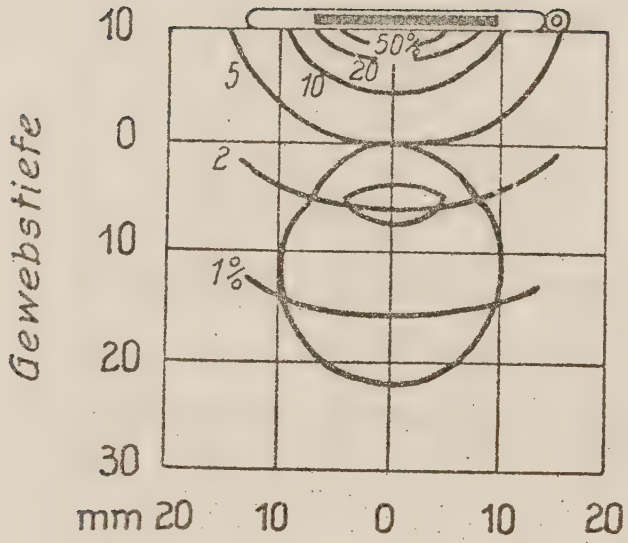
Abb. 1

des Radiums mit großen Schwierigkeiten verbunden. Ein weiterer Nachteil liegt in den großen Behandlungszeiten, die je nach Stärke und Abstand des Präparates, sowie der zu verabfolgenden Dosis, Stunden bis Tage betragen. Bei der Radiumkontakt-Therapie liegt die Linse zwischen der 10 und 25 % Isodose. Je nach applizierter Dosis bleibt damit eine Linsenschädigung nicht aus. (Abb. 2) Günstiger liegen die Verhältnisse bei der Abstandstechnik mit Hilfe von Moulagen. Hier ist die Strahlenbelastung der Linse erheblich niedriger. Die Linse erhält aber immer noch Strahlung, die 2 % Isodose verläuft durch die Linse. (Abb. 3)



Isodosen bei Radium-Kontakt-bestrahlung des Auges.

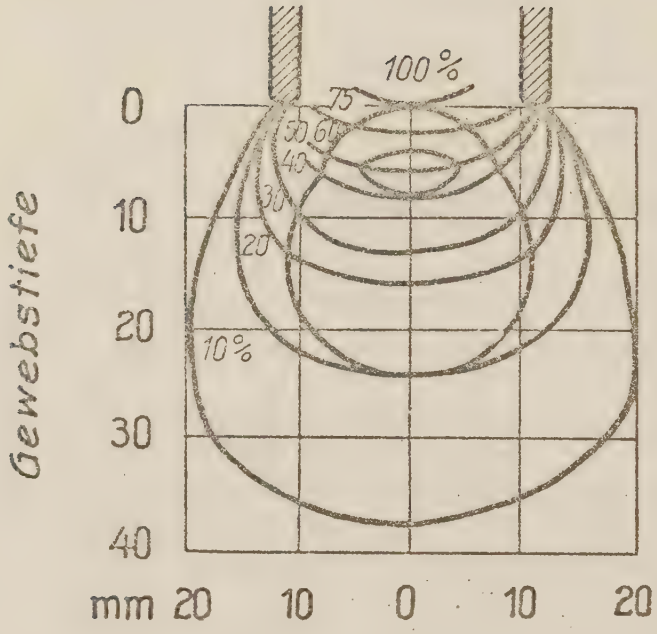
Abb. 2



Isodosen bei Bestrahlung des Auges mit Radium im Abstand von 10 mm .

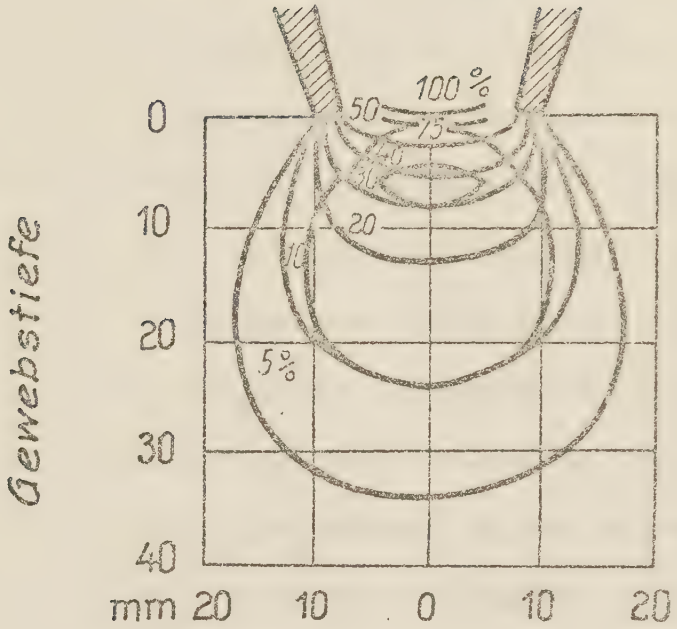
Abb. 3

In der einfachen Anwendung ist die Nahbestrahlung nach CHAOUL vorteilhafter als die Radiumtherapie. Aus den Isodosenkurven können wir entnehmen, daß bei direkter Bestrahlung mit einem Fokusabstand von 3 cm noch 50 % der Oberflächendosis an der Rückseite der Linse gemessen werden. (Abb. 4) Bei einem Abstand von 1,5 cm ist infolge des steilen Dosisabfalles die Strahlenbelastung der Linse zwar geringer, sie beträgt aber immer noch 30 % an der Rückseite. (Abb. 5) Bei der Anwendung der Nahbestrahlung muß wegen der Gefahr der Strahlenschädigung der Strahlenkegel so eingestellt werden, daß die Linse ganz aus dem Strahlenkegel herausgebracht wird. Auch bei Ausnutzung des steilen Dosisabfalls bei Nahabstand von 1,5 cm kann eine Linsenschädigung



Isodosen bei der Nahbestrahlung des Auges mit Tubus 3 (3cm FA 2,5 cm Felddurchmesser).

Abb. 4



Isodosen bei der Nahbestrahlung des Auges mit Tubus 1 (1,5 cm FA 1,5 cm Felddurchmesser)

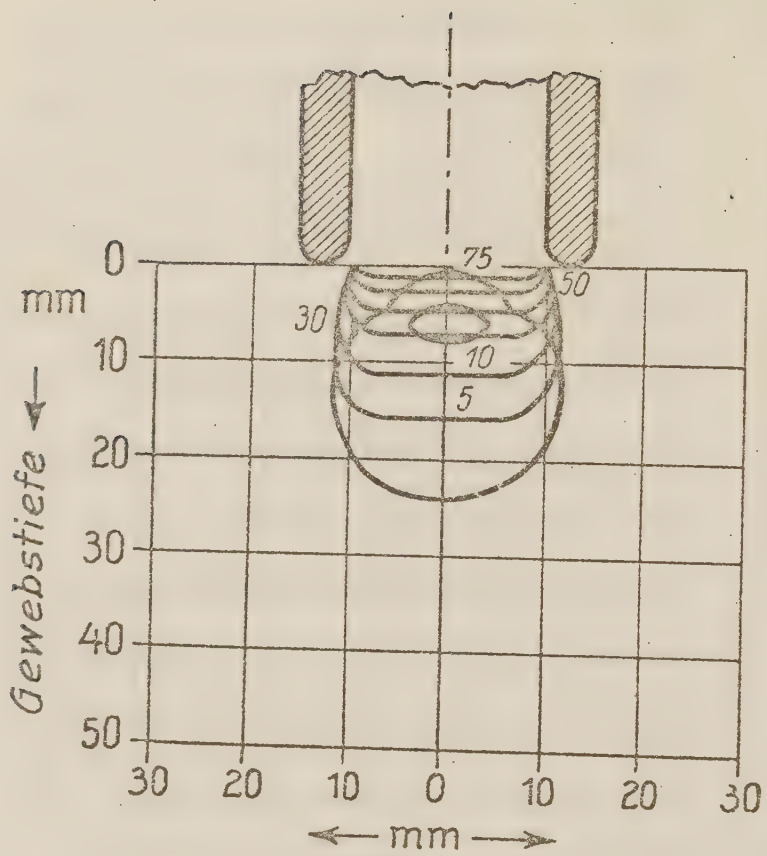
Abb. 5

nicht mit Sicherheit abgewendet werden.

Im Dermopan haben wir einen Röntgenapparat für die Grenzstrahlen-Oberhaut- und Unterhauttherapie. Da mehrere Spannungsstufen eingestellt werden können, ist dieser Apparat vielseitig zu verwenden. Bei der Stufe 4 mit 50 KV liegt eine Strahlung vor, die sich besonders zur Behandlung der Lidkarzinome eignet, während bei Stufe 2 mit 29 KV eine Strahlung vorliegt, die für die Behandlung der Haemangiome im Augenbereich zu verwenden wäre. Für die Strahlung mit 50 KV gelten die gleichen Bedenken, wie bei der Chaoul'schen Nahbestrahlung. Auch bei der Spannungsstufe 2 würde die Linse bei direkter Bestrahlung noch im Bereich der 20 - 30 % Isodosen liegen, ganz gleich, ob ein größerer oder kleinerer Fokushautabstand gewählt würde.

Aufgrund der Isodosenkurven sollte man auch bei Anwendung des Dermopan sorgfältig prüfen, wie die Einfallsrichtung der Röntgenstrahlen verlaufen soll. (Abb. 6)

Die Anwendung radioaktiver Isotope in der Strahlentherapie hat sicherlich Fortschritte gebracht. Für die Behandlung im Bereich des Auges hat das Strontium 90, das unter Aussendung einer Beta-Strahlung in das Yttrium 90 zerfällt, gewisse Bedeutung erlangt. Die Präparate sind in Plattenform oder mit Augenapplikator anzuwenden. Die Dosisverteilung im Gewebe ist derart, daß in 5mm Tiefe noch etwa 5 % der Oberflächendosis vorhanden sind. Bei der geringen Eindringtiefe der Betastrahlung können aber nur ganz oberflächliche Prozesse erfaßt werden. Eine Gefahr für die Linse ist damit nicht gegeben.



Isodosenkurve f. Spannungsstufe 2

am DERMOPAN.

Abb. 6

III Die Anwendung schneller Elektronen im Bereich des Auges

Von BECKER und BAUM wurde eine Behandlungsmethode mit schnellen Elektronen für intraorbitale Tumoren unter Schonung der Linse angegeben. Dies soll erreicht werden durch Einbringung eines Absorbers in den Strahlengang. Die Linse soll gleichsam in den " Schatten " des Absorbers gebracht werden. Man spricht daher auch von der Schattenmethode.

Bei energiearmen Strahlen kann das Auge mit Hilfe von Bleiglasschalen geschützt werden. Dies Vorgehen ist aber bei hochenergetischen Strahlen nicht möglich. Durch die höhere Durchdringungsfähigkeit der Strahlen wären größere Absorptionsdicken notwendig, die aber dann

am Auge nicht mehr anzubringen sind. BECKER und BAUM sind daher so vorgegangen, daß sie in den Bestrahlungstubus einen Eisenrundstab von 4,5 cm Länge und 1,5 cm Durchmesser in der Achse des Tubus aufgehängt haben. Der Absorberkern schließt mit dem patientennahen Tubusende ab, um Streueffekte zu verhindern. Je mehr nämlich der Eisenkern in den Tubus geschoben wird, umso größer ist der Anteil der Streuelektronen, der die Linse treffen würde. Die von den Autoren aufgeführten Isodosen zeigen, daß die Linse im Schatten des Absorbers liegt. Durch ein schräges Schlüfenfeld wird die Dosis im hinteren Orbitabereich aufgefüllt.

Ähnlich sind BELLETTI und TUNESI vorgegangen. Sie haben ein direktes Feld mit

einem Rundtubus von 4 cm Durchmesser angesetzt. Am Tubus war am unteren Ende in der Mitte ein Bleiplättchen als Absorber angebracht mit einem Durchmesser von 1,5 cm und einer Dicke von 3 mm. Senkrecht zu genanntem Feld wurde ein Schläfenfeld angesetzt von der Größe 4 x 4 cm. Als Strahlung wurde eine 12 bzw. 18 MeV-Elektronenstrahlung verwendet. Die Isodosiskurven zeigen, daß bei diesem Vorgehen die Orbita und der hintere Augapfelanteil im 90 %-Isodosenbereich liegt. Aus den Isodosen ist allerdings nicht exakt abzulesen, wieviel Strahlung der vordere Augenabschnitt, insbesondere die Linse erhält bzw. ob die Linse bei diesem Vorgehen völlig frei von der Strahlung bleibt.

Durch eigene Messungen am Phantom soll geprüft werden, wie hoch die Strahlenbe-

lastung der Linse unter Anwendung des 42 MeV Betatron der Firma Siemens bei Verwendung von Elektronen verschiedener Energie und verschiedenem Absorbermaterial ist. Weiterhin soll ermittelt werden, ob eine Bestrahlungsmethode entwickelt werden kann, die die Möglichkeit bietet bei optimaler Schonung der Linse eine Tumordosis im hinteren Orbitabereich zu applizieren.

IV. Versuchsanordnung und Durchführung der Messungen

Bei allen Messungen wurde ein Rundtubus mit einem Durchmesser von 40 mm benutzt. Der Fokusobjektabstand betrug konstant 1000 mm.

1. Strahlung

Die Energie der Elektronen betrug bei allen Versuchen

jeweils 12 MeV mit Folie 0 ≙ 290 H

und 18 MeV mit Folie 1 ≙ 426 H

wobei $H = \frac{E + 0{,}757}{0{,}044}$ H : Helipot

E : Energie

Gemessen wurde 1. im Zentralstrahl in Plexiglas

2. in verschiedenen Ebenen im Wasserphantom

Bestrahlt wurde a) ohne Absorber

b) mit Bleiabsorber

c) mit Plexiglasabsorber

2. Tubuskonstruktion

Als Absorberhalterung wurde ein Tubusaufsatz - wie folgt - konstruiert. Ein Hohlzylinder aus Weichplastik

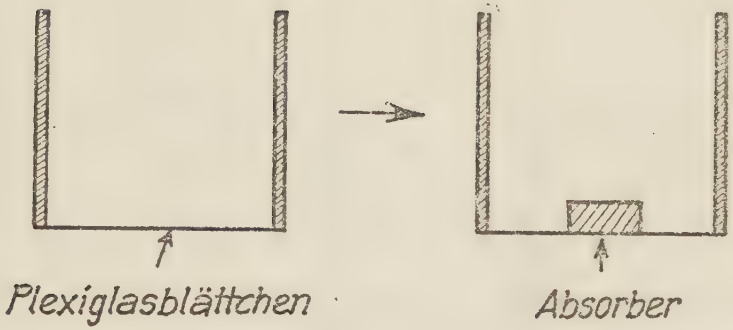
wurde einseitig mit einem 1 mm dicken Plexiglasblättchen verschlossen. Auf dieses Plexiglasblättchen wurden die Absorber - einmal Blei, einmal Plexiglas - in der Richtung des Hohlzylinders genau zentriert aufgeklebt, sodaß die Achse der jeweiligen Absorber genau mit der Achse des Rundtubus zusammenfällt. (Abb. 7) Diese Absorberhalterung wurde über das Tubusende gestülpt. (Abb. 8)

Der Bleiabsorber hat einen Durchmesser von 15 mm und eine Dicke von 3,5 mm während der Plexiglasabsorber einen Durchmesser von 12 mm und eine Dicke von 70 mm aufweist.

3. Messgerät

Die Messungen im Zentralstrahl in Plexiglas wurden mit der Messkammer Nr. 17203 und dem Messkopf Nr. 23101 des Duplex-Dosimeters durchgeführt; die ohne Absorber erfolgten mit dem Duplex-Dosimeter Typ 225 App. 41322 der Firma PTW und dem Digitalvoltmeter DS 40 AR Nr. 2044. Bei Anwendung der Absorber Blei und Plexiglas kam das Duplex-Dosimeter Typ 2222 App. 41220 zur Anwendung.

Absorberhalterung



seitliche Ansicht

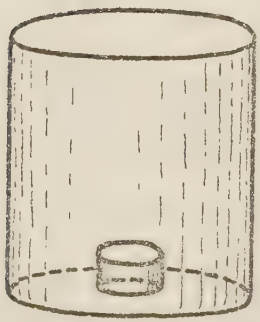
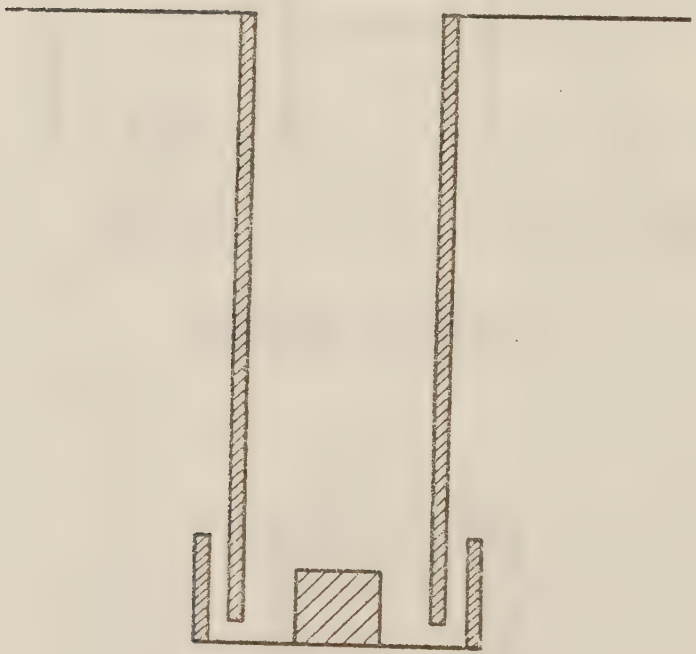


Abb. 7

Tubus
mit Absorber



(seitliche Ansicht)

Abb 8

4. Messung der Ionendosis im Zentralstrahl in Plexiglas

Von 0 - 15 mm wurden jeweils Plexiglasblättchen von 1 mm und ab 15 mm jeweils Blättchen mit 5 mm Stärke aufgelegt. (Abb. 9)

a) Tiefendosiskurve bei 12 MeV e^- im Zentralstrahl (Abb. 10)

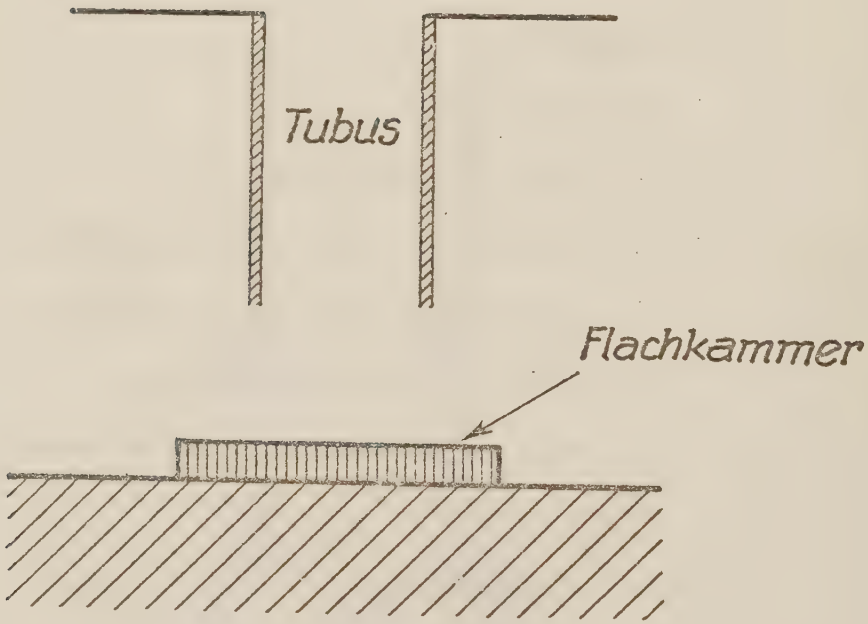
aa) ohne Absorber

bei 0 mm (Tubus direkt auf die Flachkammer aufgesetzt) findet man 95 % der Maximaldosis. Dann erreicht die Kurve nach einem sehr flachen Anstieg in 15 mm Tiefe ein Maximum mit 100 %, fällt anschließend langsam ab und erreicht bei 60 mm 0 %.

ab) mit Bleiabsorber

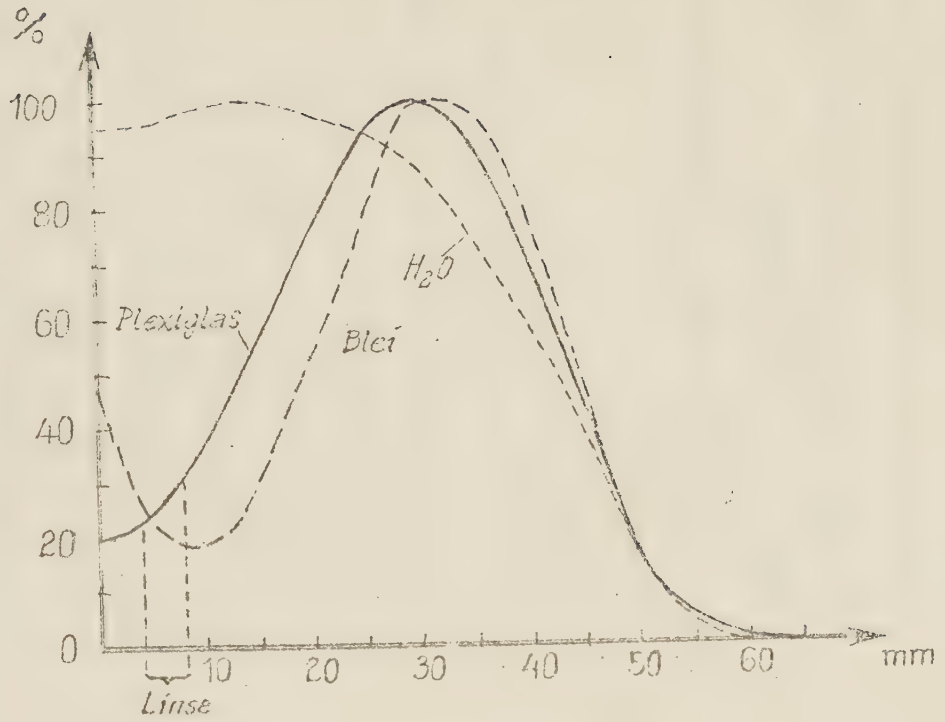
bei 0 mm beträgt die Dosis 50 %. Die Kurve erreicht dann nach steilem Abfall in 19 mm Tiefe ein Minimum mit 18 %, steigt wieder steil an bis zu einem Maximum mit 100 % bei 30 mm und fällt anschließend steil ab und hat bei 90 mm 0

Versuchsanordnung zu den Messungen im Zentralstrahl



(seitliche Ansicht)

Abb. 9



Tiefendosiskurve bei 12 Me V e⁻

ac) mit Plexiglasabsorber

bei 0 mm ergibt die Messung eine Dosis von 20 %. Nach steilem Anstieg erreicht die Kurve bei 30 mm ein Maximum mit 100 % und fällt anschließend steil ab bis zu 0 % bei 65 mm.

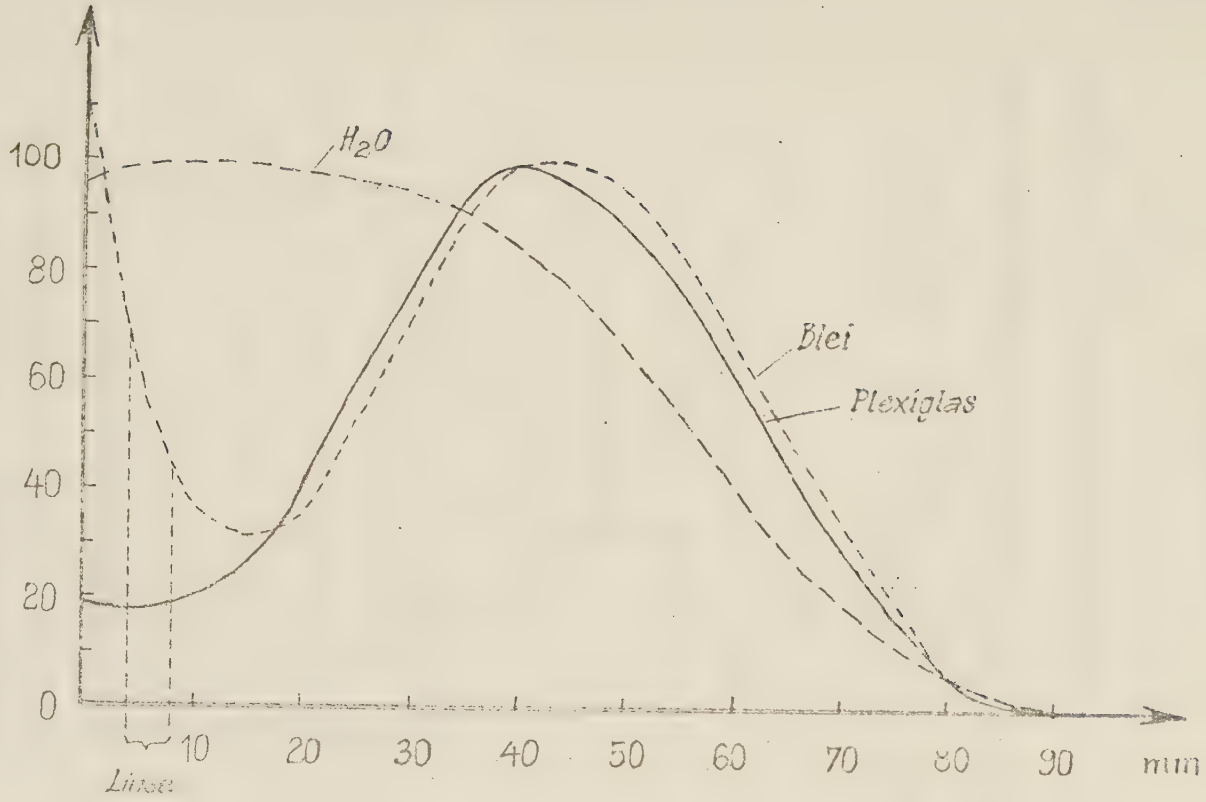
b) Tiefendosiskurve bei 18 MeV e^- im Zentralstrahl (Abb. 11)

ba) ohne Absorber

bei 0 mm beträgt die Dosis 94 %. Nach einem sehr flachen Anstieg wird bei 14 mm ein Maximum mit 100 % erreicht, von hier aus fällt die Kurve langsam ab und hat bei 90 mm 0 %.

bb) mit Bleiabsorber

hierbei wurde das Maximum gleich 100 % nicht auf den höchsten Wert gelegt, da dieser direkt bei 0 mm liegt und dann ein sehr steiler Abfall folgt. Daraus würde eine große Ungenauigkeit des Kurvenbildes entstehen. Die Kurve wurde daher auf ein zweites Maximum, das aber niedriger als das erste liegt, normiert. Hieraus erklären sich auch die



Tiefendosiskurve bei 18 Me Ve-

über 100 % liegenden Werte.

Bei 0 mm findet man eine 124 % Dosis. Nach einem sehr steilen Abfall wird bei 15 mm ein Minimum mit 31 % und nach steilem Anstieg bei 40 mm ein Maximum mit 100 % erreicht. Von hier aus fällt die Kurve langsam ab und hat bei 90 mm 0 %.

bc) mit Plexiglasabsorber

hierbei beträgt die Dosis bei 0 mm 19 %. Nach sehr flachem Abfall wird bei 5 mm ein Minimum mit 18 % und nach steilem Anstieg bei 40 mm ein Maximum mit 100 % erreicht. Von hier aus fällt die Kurve steil ab und hat bei 90 mm 0 %.

5. Messungen in verschiedenen Ebenen im Wasserphantom

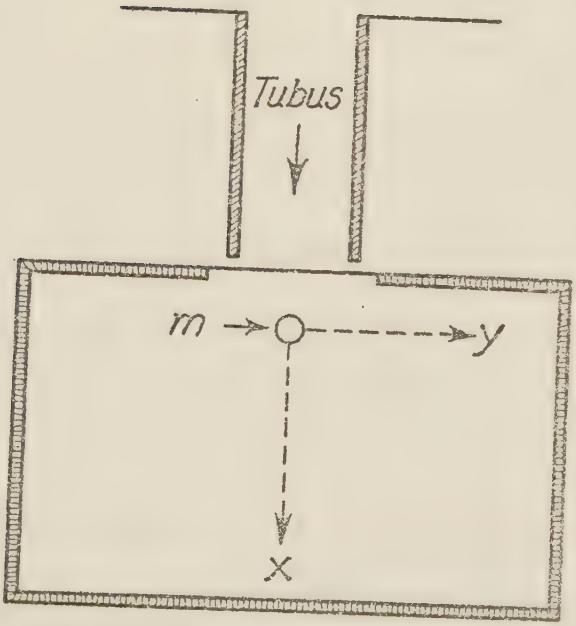
Die Messkammer Nr. 18597 mit Messkopf Nr. 22852 wurde zur Registrierung der Dosis eingesetzt und an das Dosimeter (Typ 225 App. 41522 mit dem Digitalvoltmeter DS 40 AR Nr. 2044) angeschlossen.

Die Messkammer hängt genau in der Verlängerung der Tubusachse von oben in das Wasserphantom herab. (Abb.12)

In Richtung der y Achse wurde jeweils 2 mm Abstand

Abb. 12

Aufsicht der Versuchsanordnung zu den Messungen in verschiedenen Ebenen im Wasserphantom.



m = Meßkammer

x,y = Laufrichtung der Meßkammer

(von 0 - 20) und dann 5 mm Abstand als Raster genommen. In Richtung der x Achse war infolge der Wanddicke des Wasserphantoms der erste Wert erst in einer Tiefe von 5 mm fassbar, sodaß der erste Messwert auf der x Achse mit y = 0 in 5 mm Entfernung vom Tubusende lag. Von diesem Punkt aus wurde dann in Richtung der x Achse ein 10 mm Raster angelegt. Entsprechend dieser Anordnung wurden aus den Messungen Kurven ermittelt und zwar:

Die Tiefendosiskurven in Richtung der y Achse in den Ebenen x = 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65 mm und die Tiefendosiskurven in Richtung der x Achse in den Ebenen

y= 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, bzw. y = 0, 6, 10, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 mm.

Die Messungen erfolgten bei 12 MeV e^- bzw. 18 MeV e^-, und zwar ohne Absorber und mit Bleiabsorber bzw. Plexiglasabsorber. (Abb. 13 - 24). Aus diesen Kurvensystemen wurden die Isodosen ermittelt (Abb. 25 - 30)..

Alle Kurven im Wasserphantom wurden jeweils auf das Maximum im Zentralstrahl normiert.

Um jedoch die Isodosen in Absolutwerten direkt vergleichen zu können, wurden sowohl bei 12 wie 13 MeV d der höchste Wert gleich 100 % gesetzt und auf diesen Basis die einzelnen Kurven ermittelt (Abb. 31 - 38) und aus ihnen die endgültigen Isodosen abgeleitet (Abb. 39 - 42).

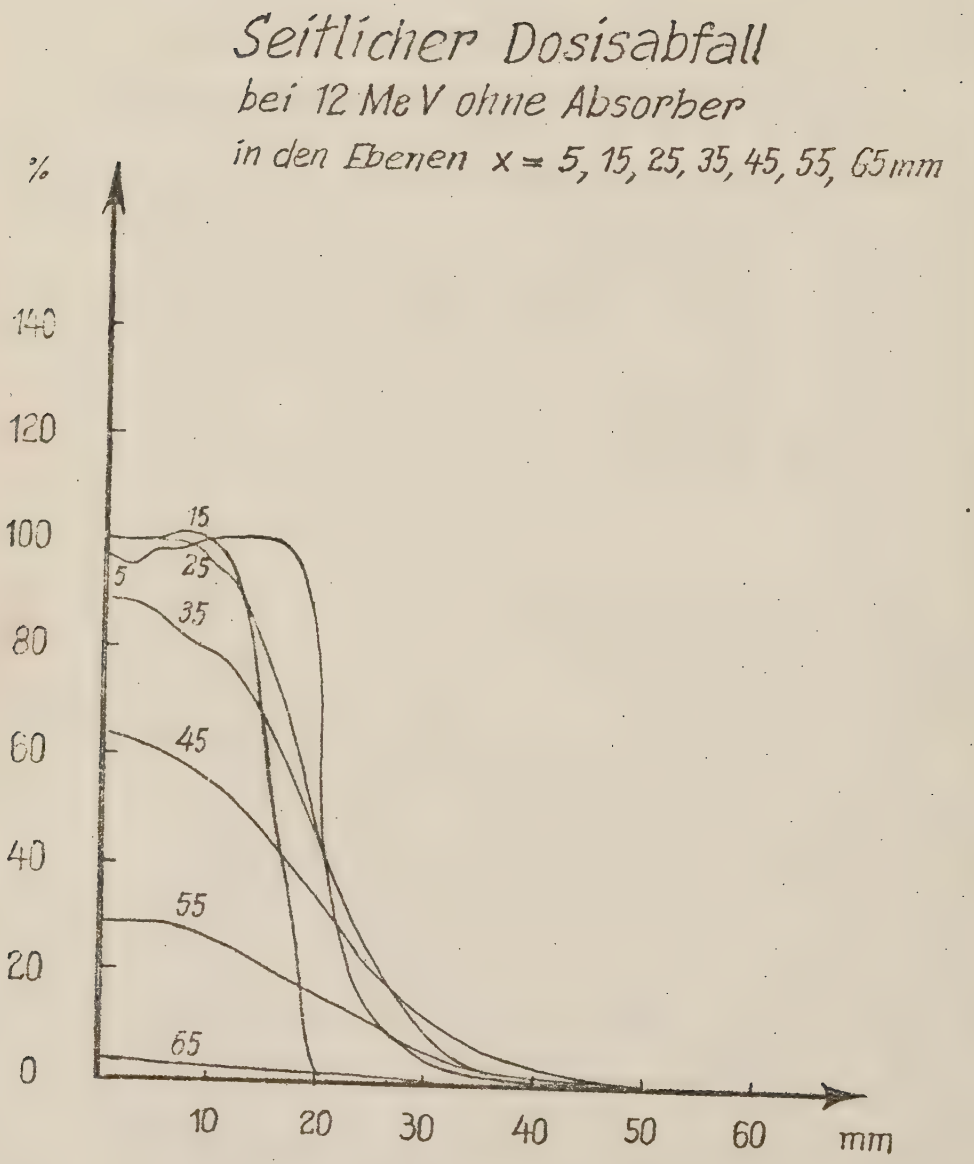

Seitlicher Dosisabfall
bei 12 MeV ohne Absorber
in den Ebenen x = 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65 mm
%
140
120
100
80
60
40
20
0
15
25
5
35
45
55
65
10
20
30
40
50
60
mm

Abb. 13

Tiefendosiskurven
bei 12 MeV ohne Absorber

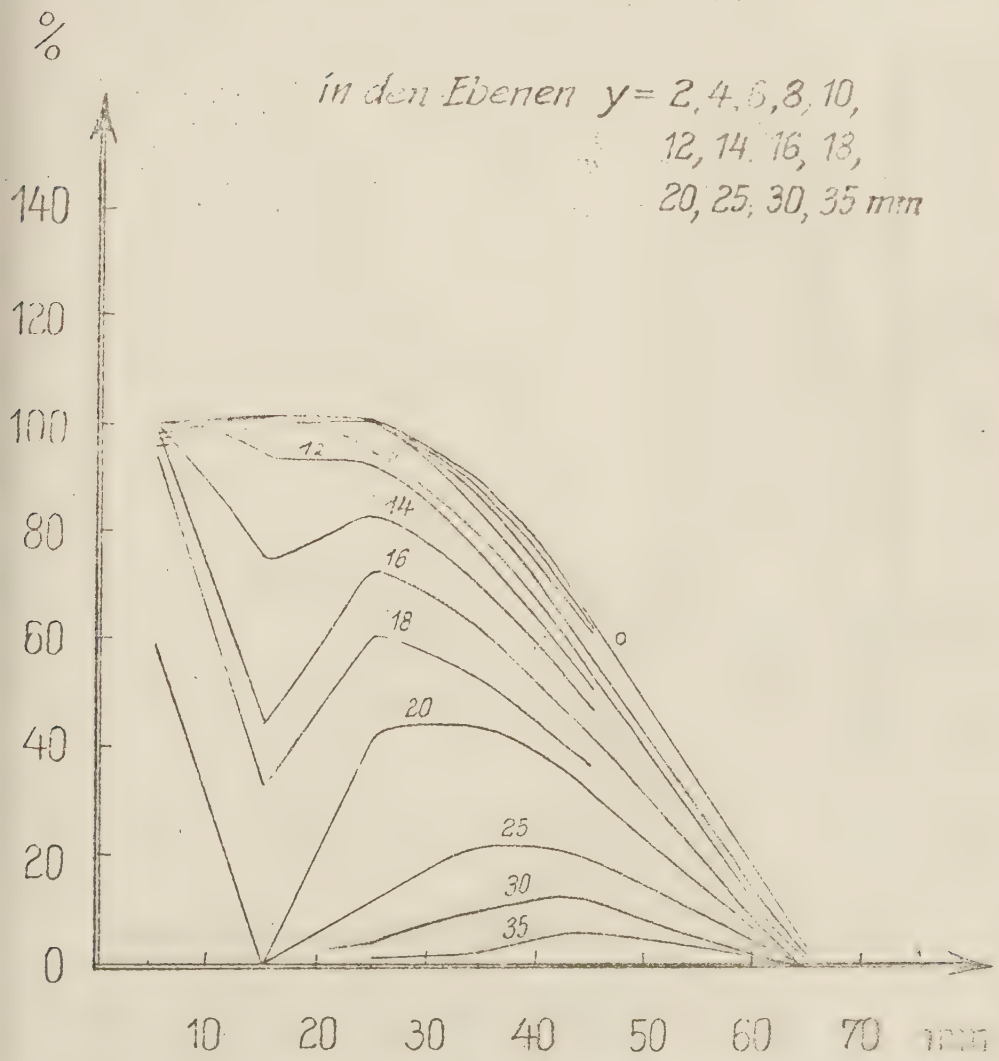


Abb. 14

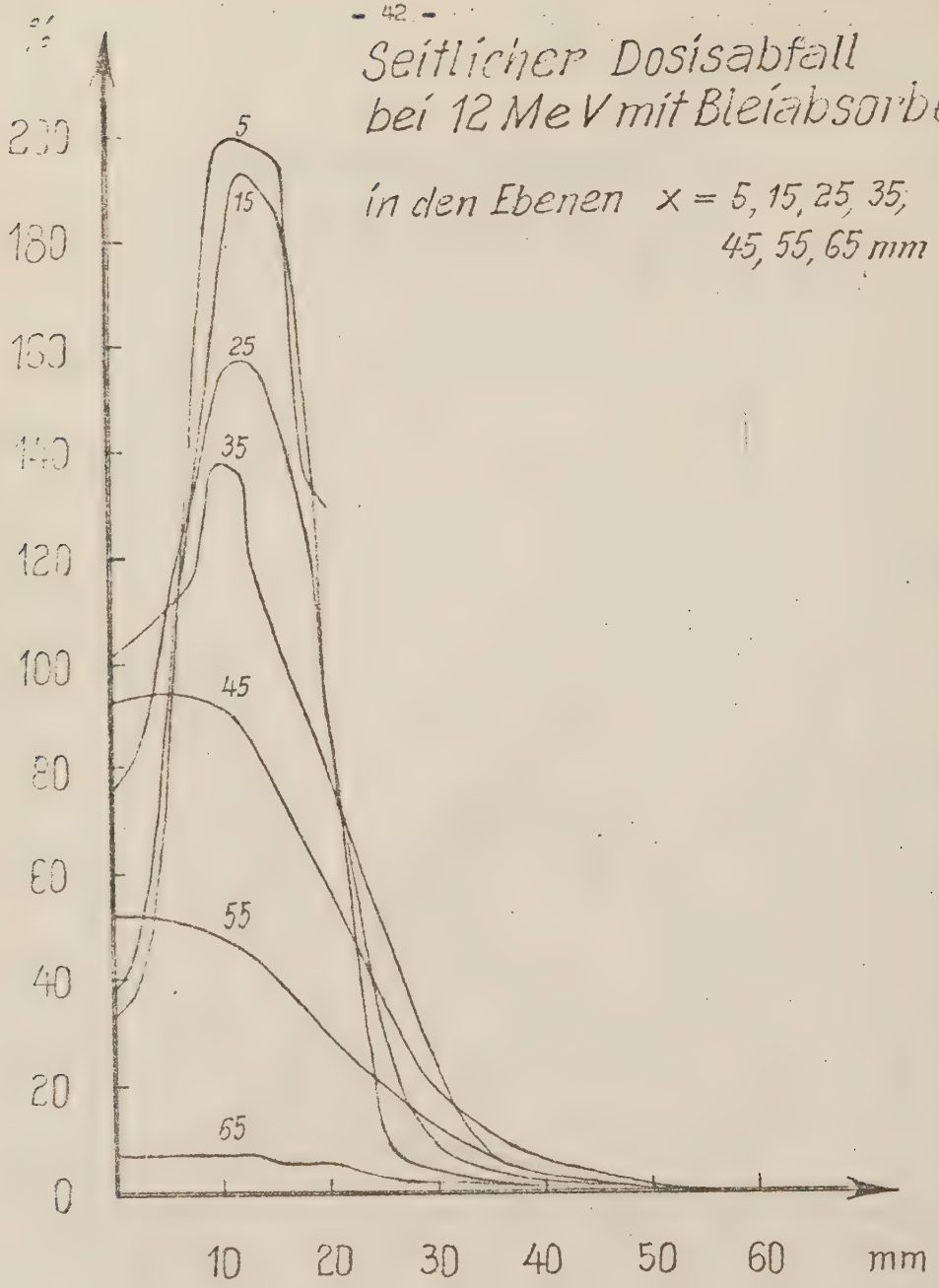
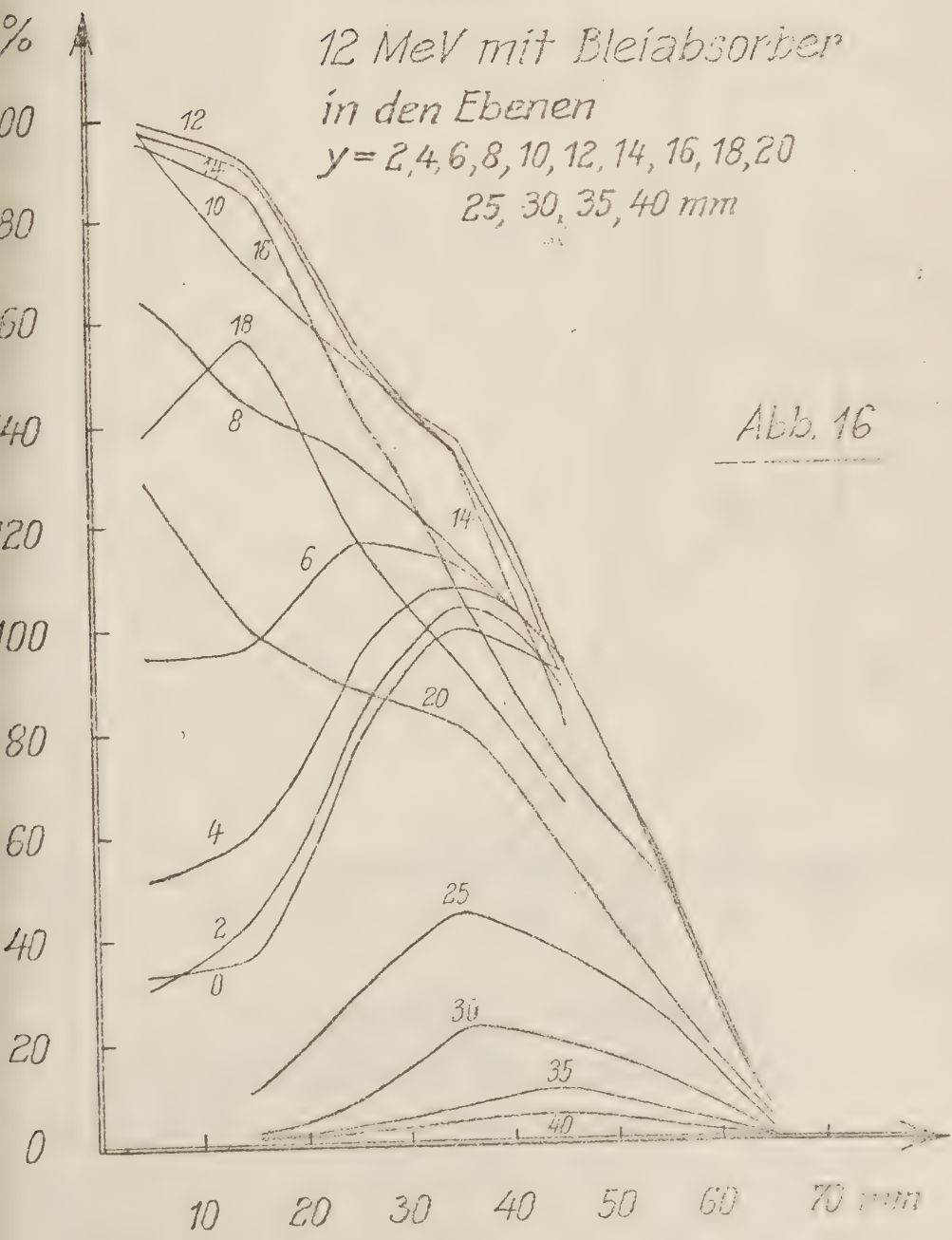

Seitlicher Dosisabfall
bei 12 MeV mit Bleiabsorber
in den Ebenen x = 5, 15, 25, 35,
45, 55, 65 mm
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
5
15
25
35
45
55
65
10
20
30
40
50
60
mm

Abb. 15


Tiefendosiskurven bei
12 MeV mit Bleiabsorber
in den Ebenen
y = 2,4,6,8,10,12,14,16,18,20
25, 30, 35, 40 mm
Abb. 16
%
00
80
60
40
20
00
80
60
40
20
0
12
10
16
18
8
14
6
20
4
2
0
25
30
35
40
10
20
30
40
50
60
70 mm

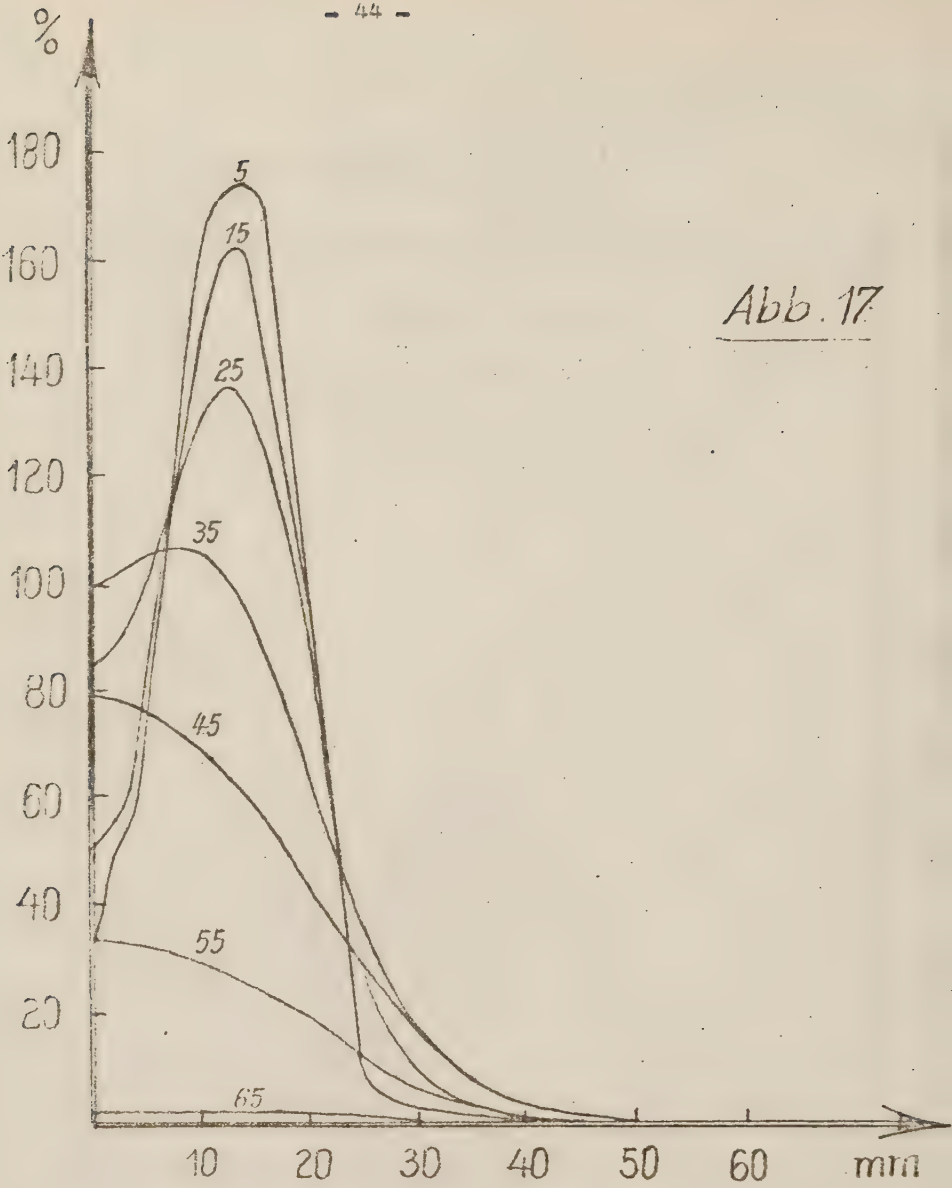


Abb. 17

Seitlicher Dosisabfall
bei 12 MeV mit Plexiglasabsorber
in den Ebenen $x = 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65$ mm

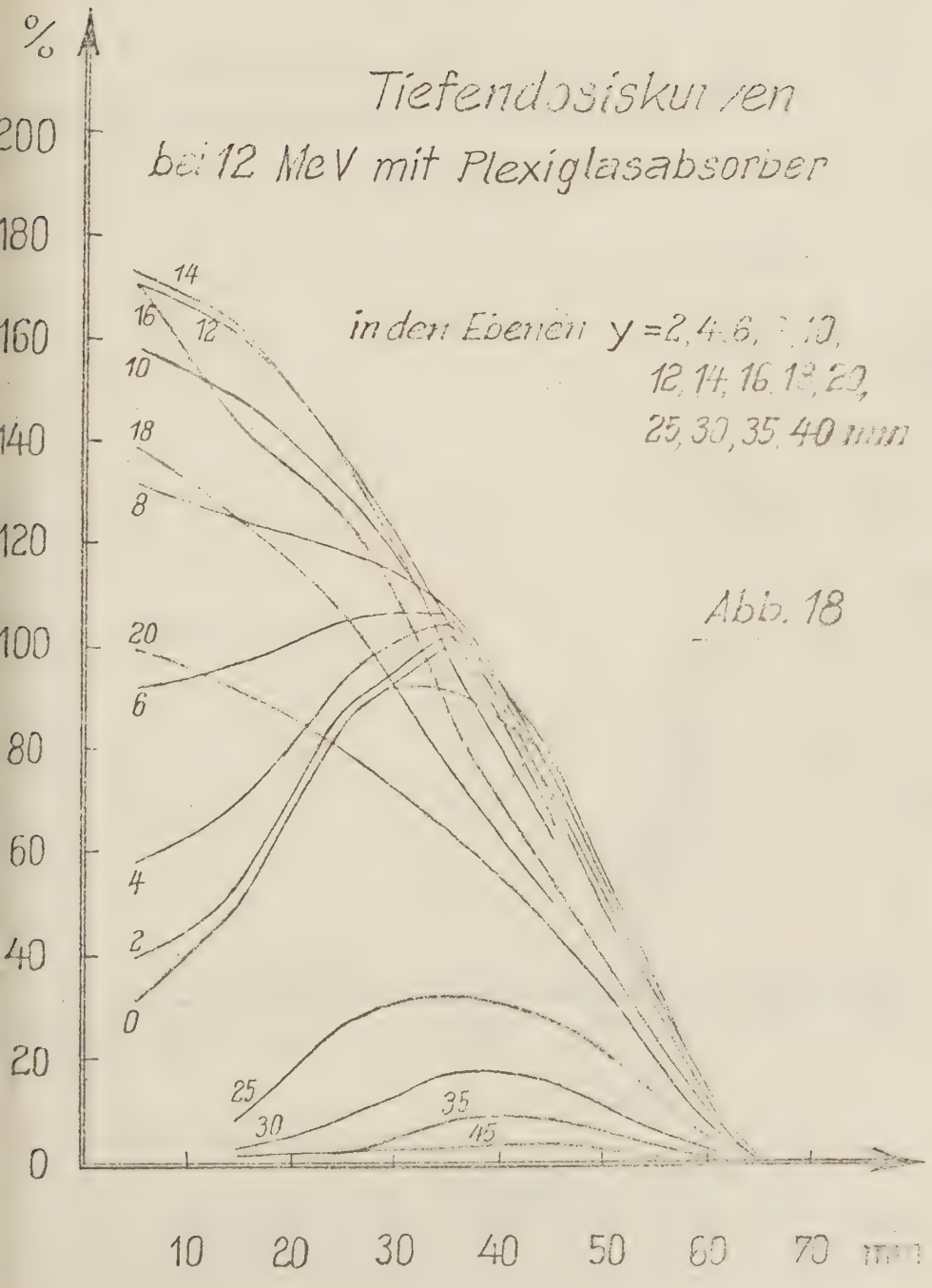

%
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Tiefendosiskurven
bei 12 MeV mit Plexiglasabsorber
in den Ebenen y = 2, 4, 6, 8, 10,
12, 14, 16, 18, 20,
25, 30, 35, 40 mm
14
16
12
10
18
8
20
6
4
2
0
25
30
35
45
10
20
30
40
50
60
70
mm

Abb. 18

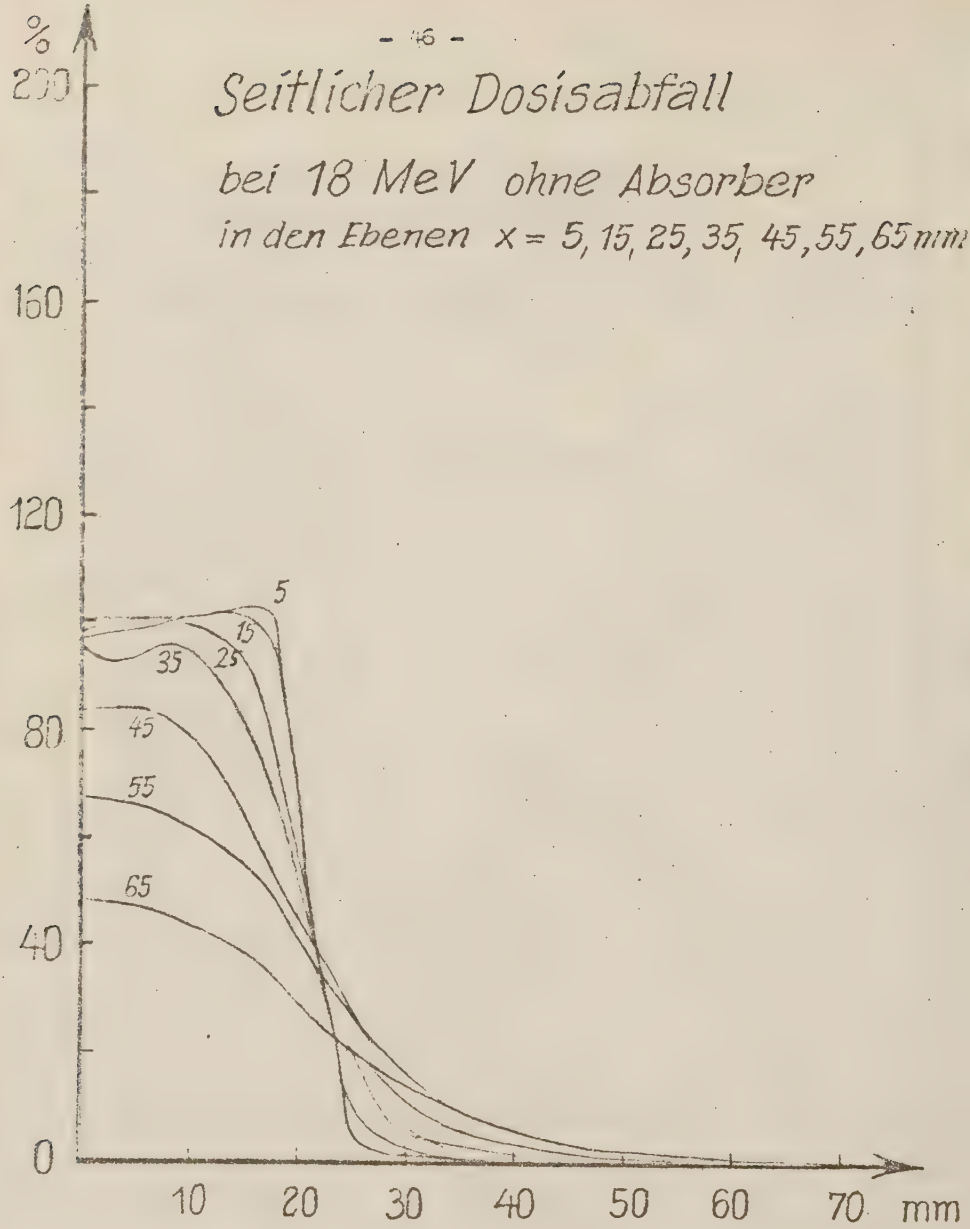

Seitlicher Dosisabfall
bei 18 MeV ohne Absorber
in den Ebenen x = 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65 mm
%
200
160
120
80
40
0
5
15
25
35
45
55
65
10
20
30
40
50
60
70
mm

Abb. 19

Tiefendosiskurven

bei 18 MeV ohne Absorber

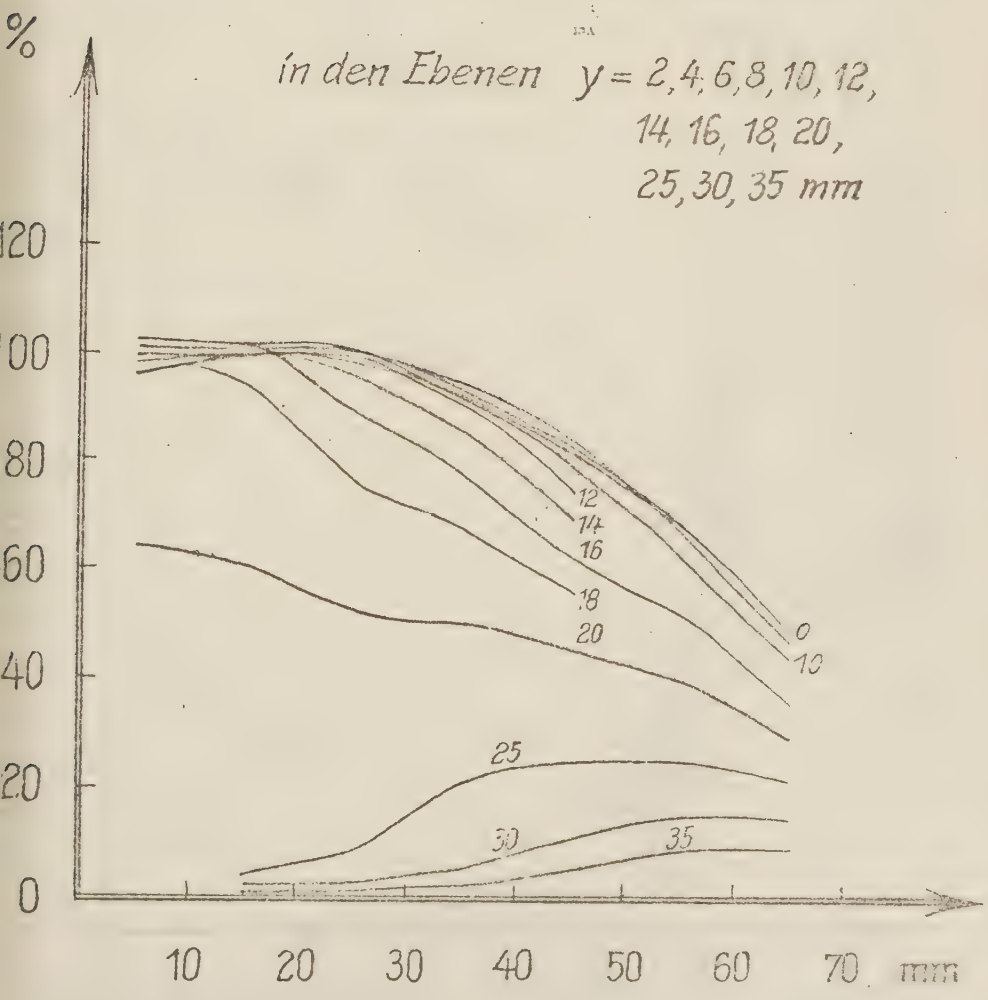
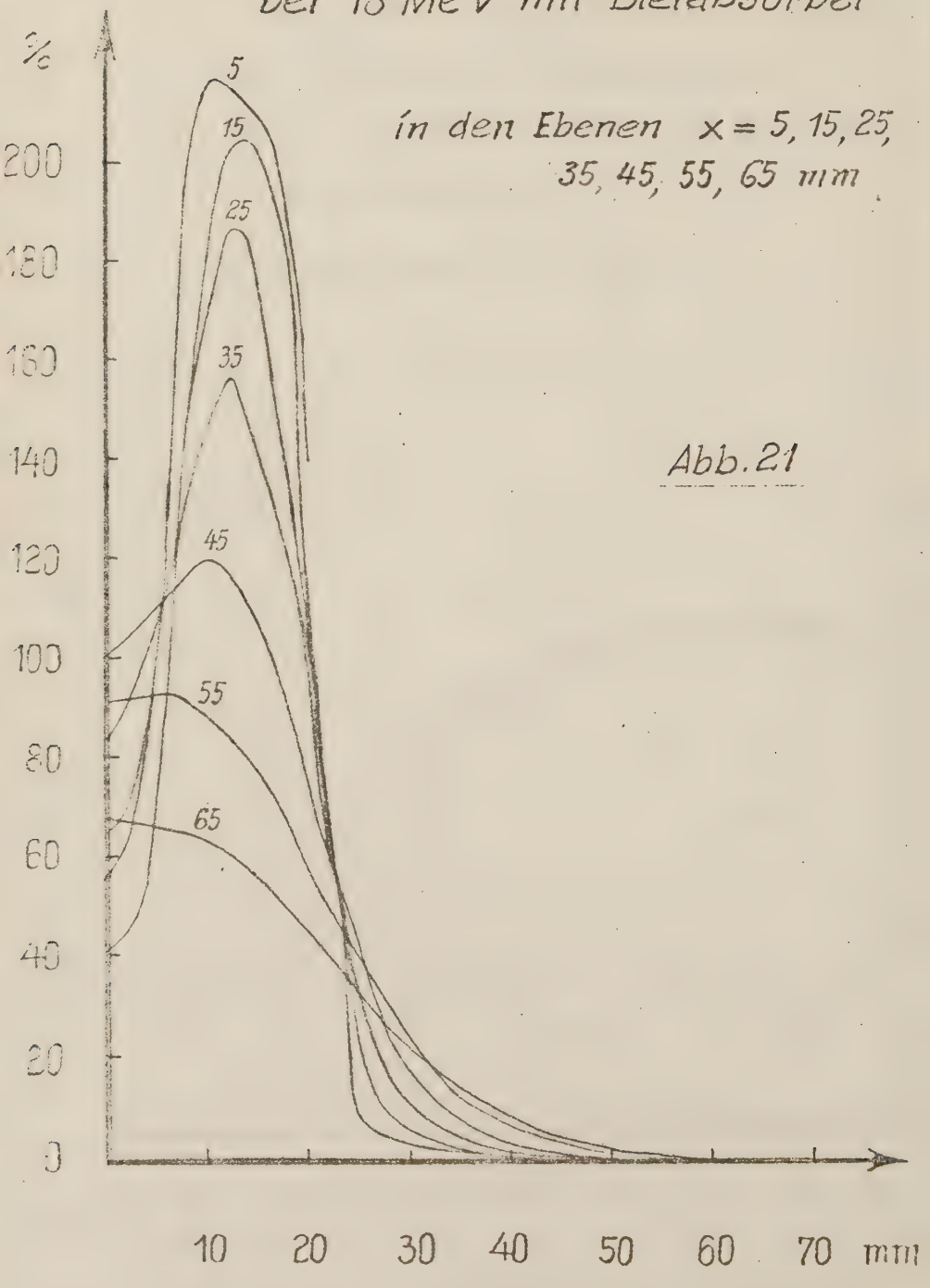


Abb. 20

Seitlicher Dosisabfall

bei 18 MeV mit Bleiabsorber



in den Ebenen $x = 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65$ mm

Abb. 21

Tiefendosiskurven

bei 13 MeV mit Bleiabsorber

in den Ebenen y = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25 mm

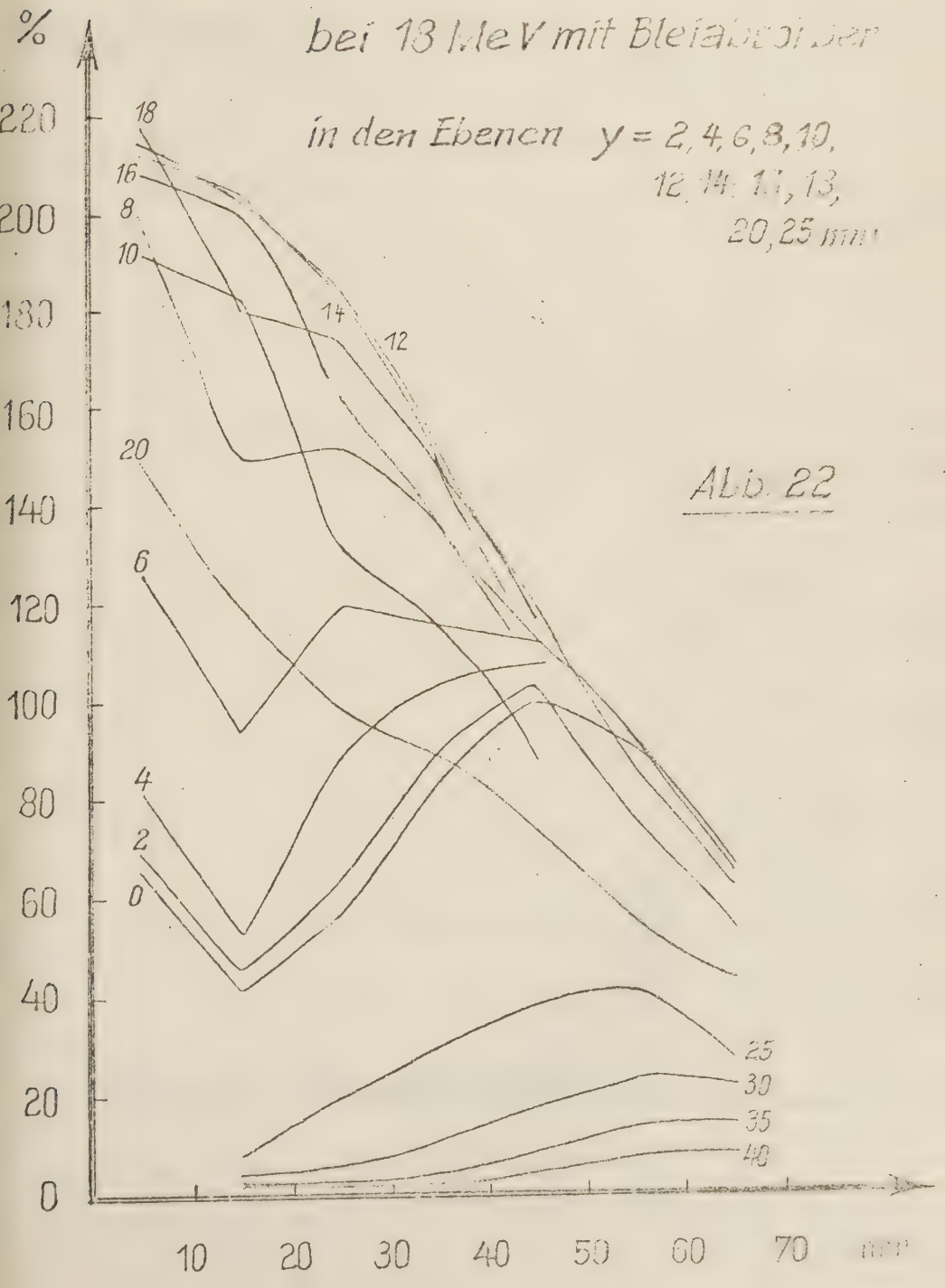


Abb. 22

Seitlicher Dosisabfall

bei 18 MeV mit Plexiglasabsorber

in den Ebenen $x = 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65$ mm

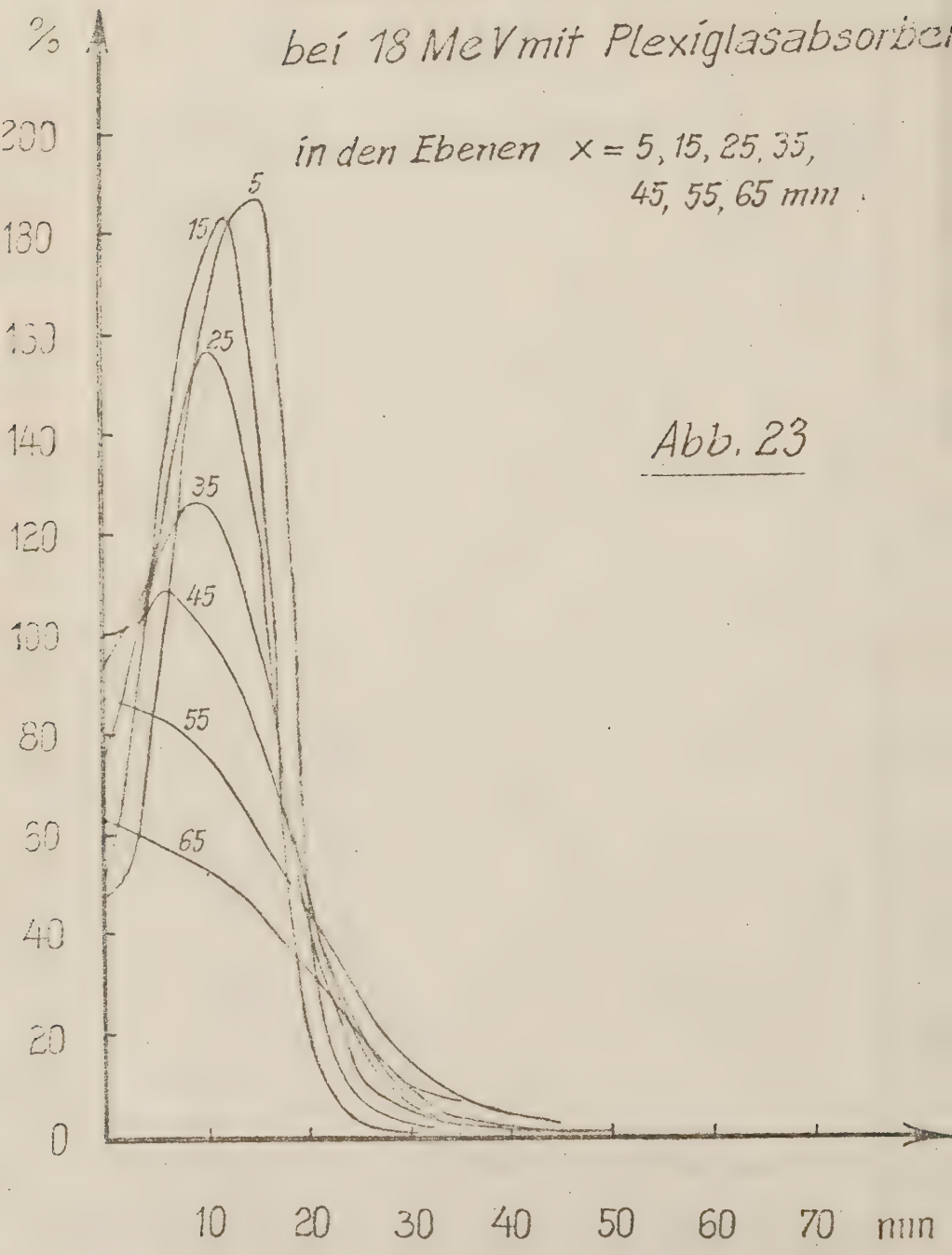
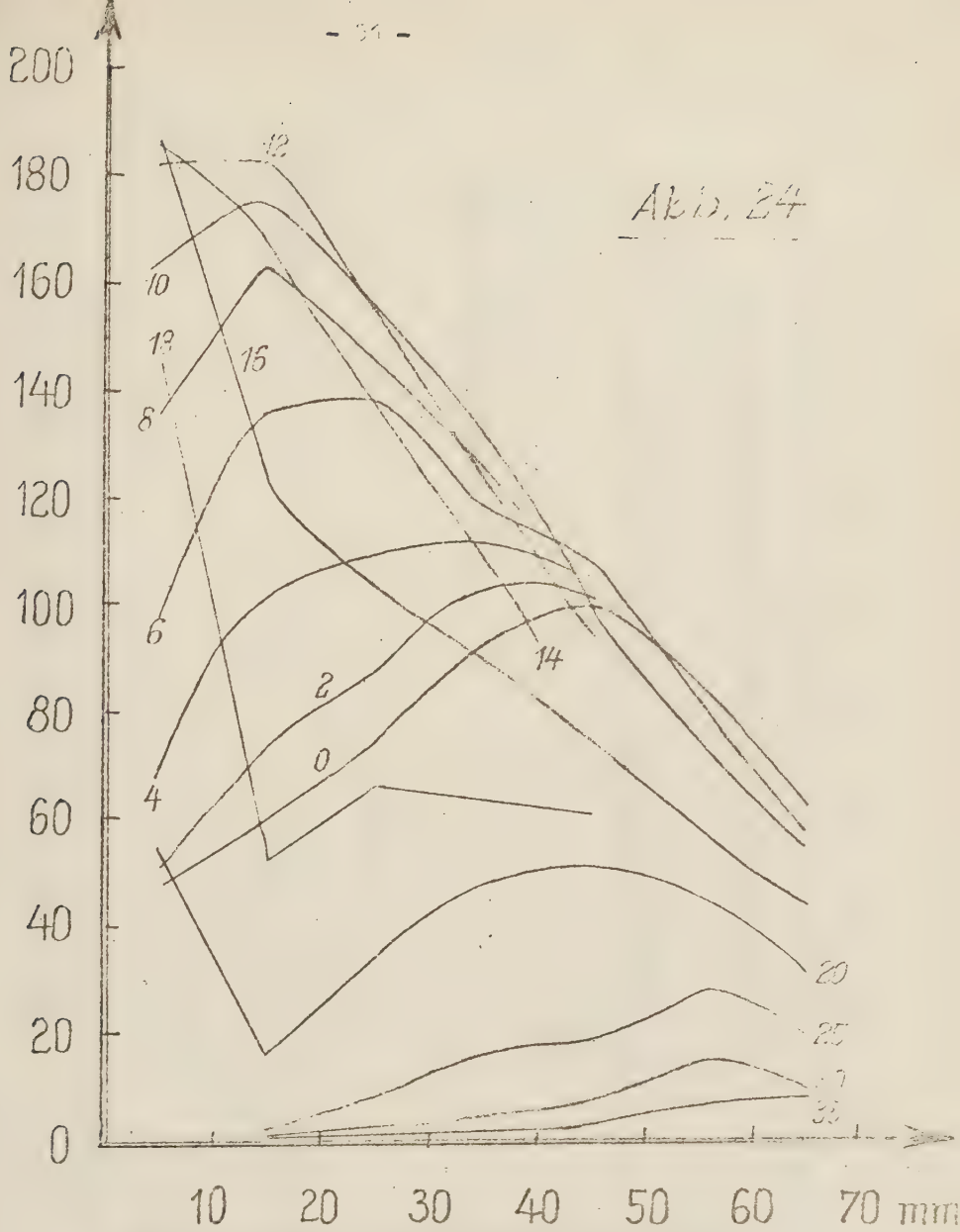


Abb. 23

Abb. 24



Tiefendosiskurven bei 18 MeV
mit Plexiglasabsorber
in den Ebenen y = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 19, 20, 25, 30, 33, 40 mm

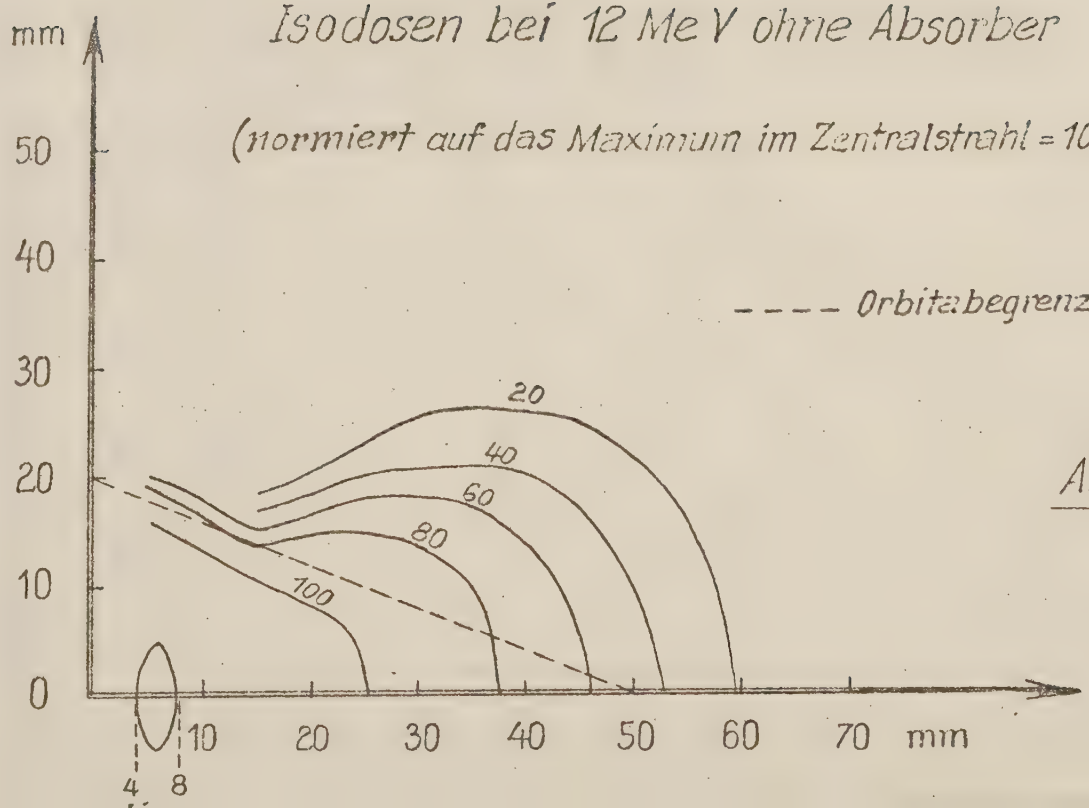
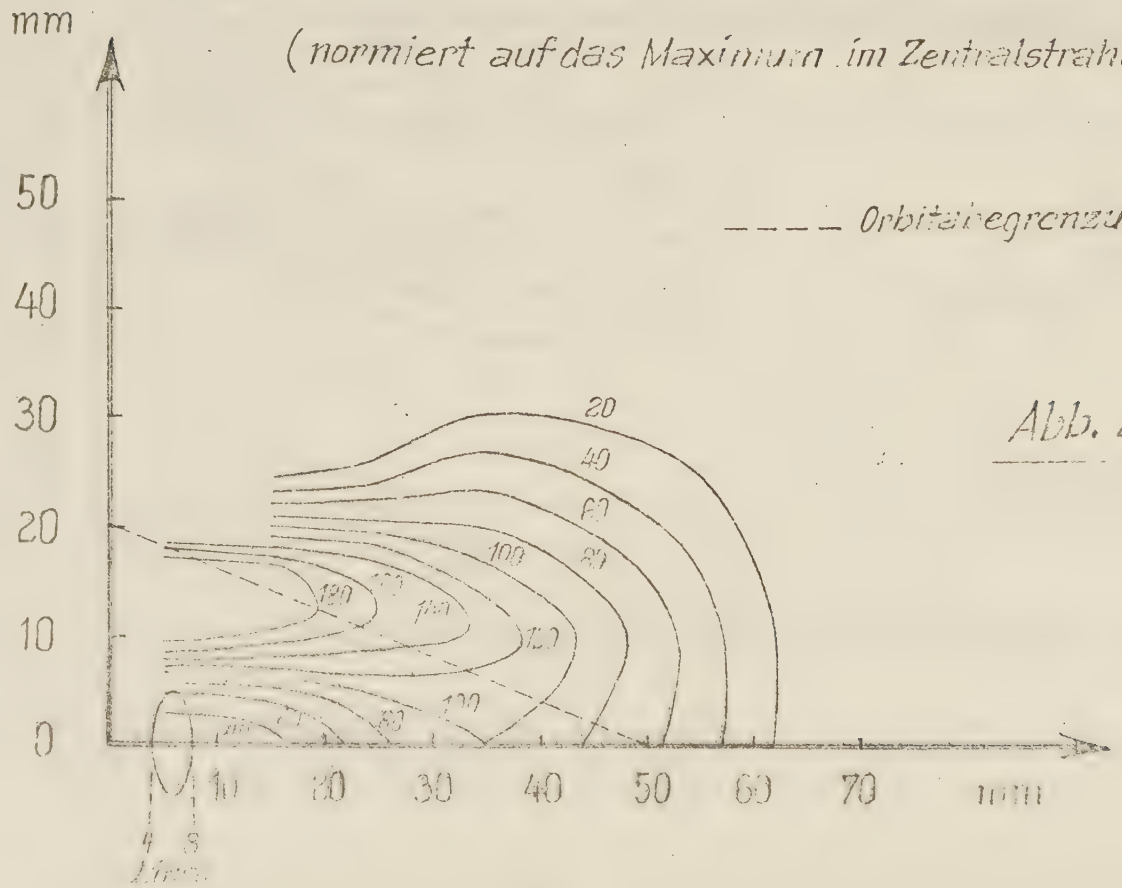

Isodosen bei 12 MeV ohne Absorber
(normiert auf das Maximum im Zentralstrahl = 100 %)
---- Orbitabegrenzung
mm
50
40
30
20
10
0
20
40
60
80
100
10
20
30
40
50
60
70
mm
4
8

Abb. 25

Isodosen bei 12 Mc V mit Bleiabsorber

(normiert auf das Maximum im Zentralstrahl = 100 %)



---- Orbitabegrenzung

Abb. 26

Isodosen bei 12 MeV mit Plexiglasabsorber

(normiert auf das Maximum im Zentralstrahl = 100%)

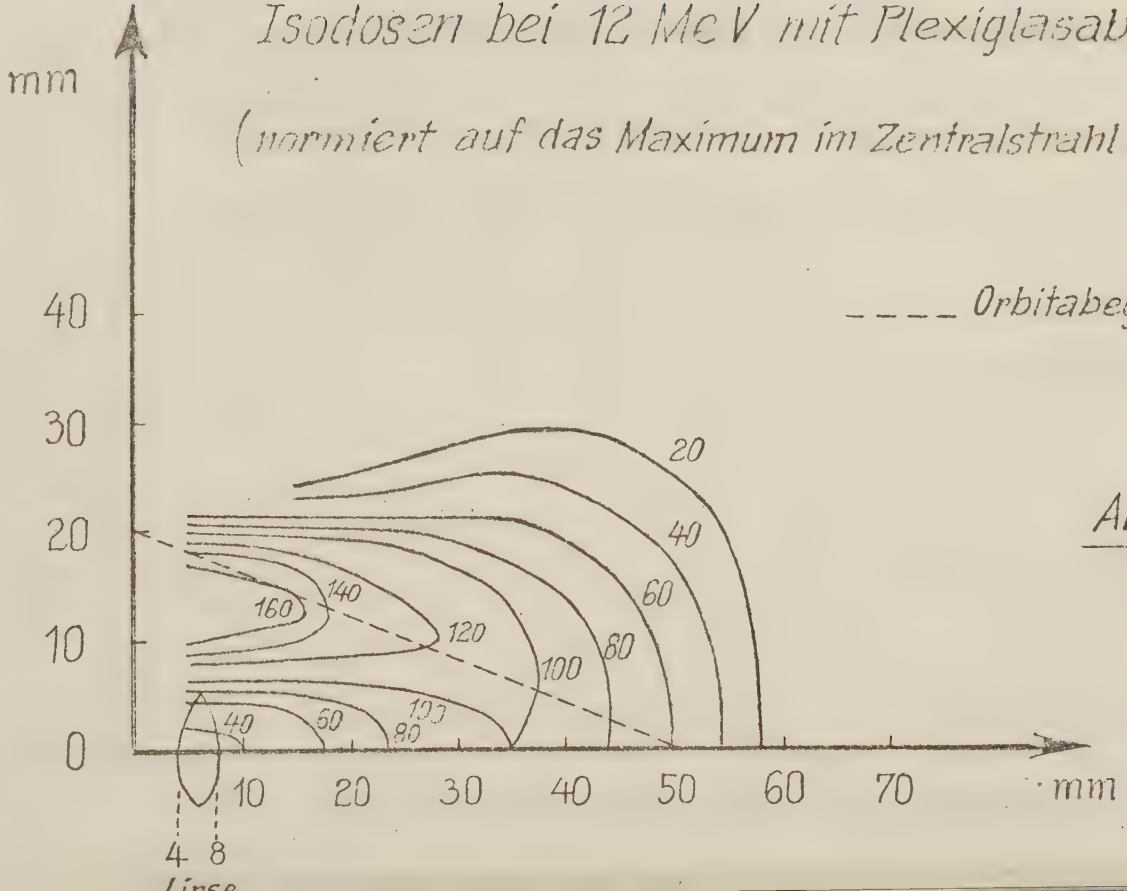
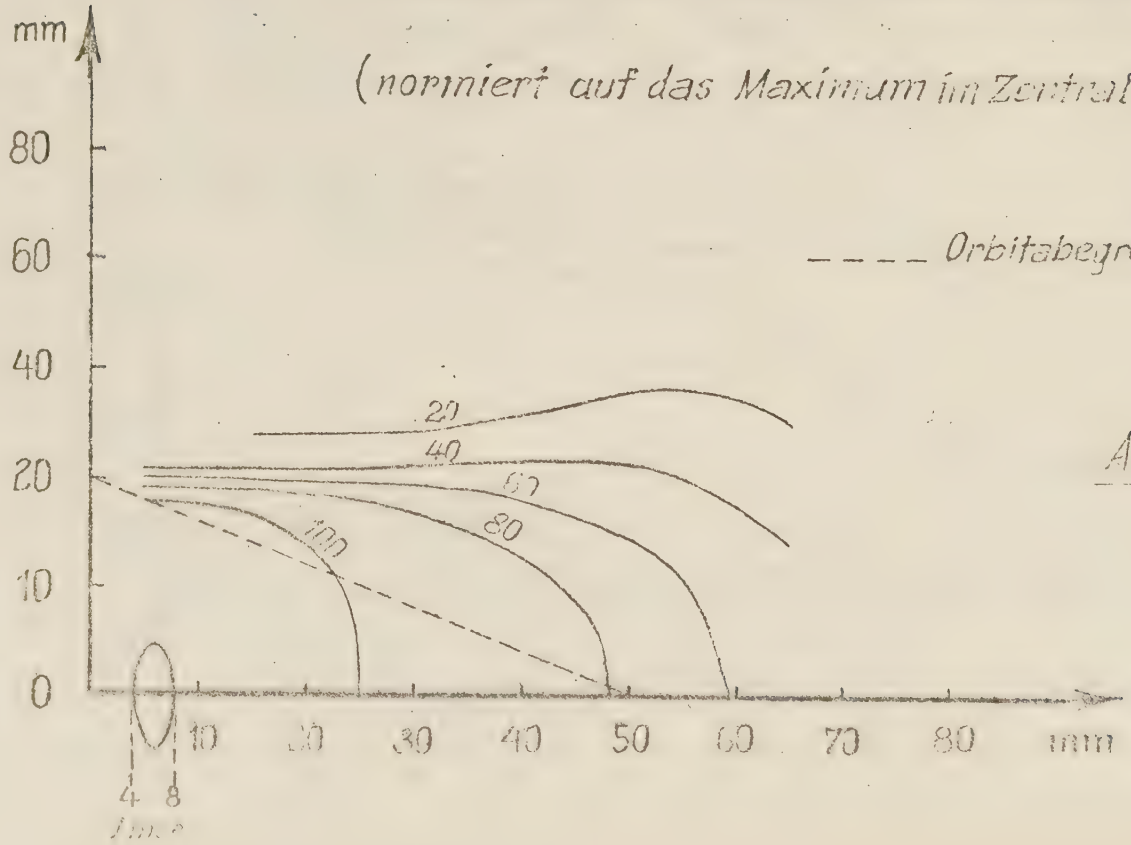


Abb. 27

Isodosen bei 18 MeV ohne Absorber

(normiert auf das Maximum im Zentralstrahl = 100%)



---- Orbitabegrenzung

Abb. 28

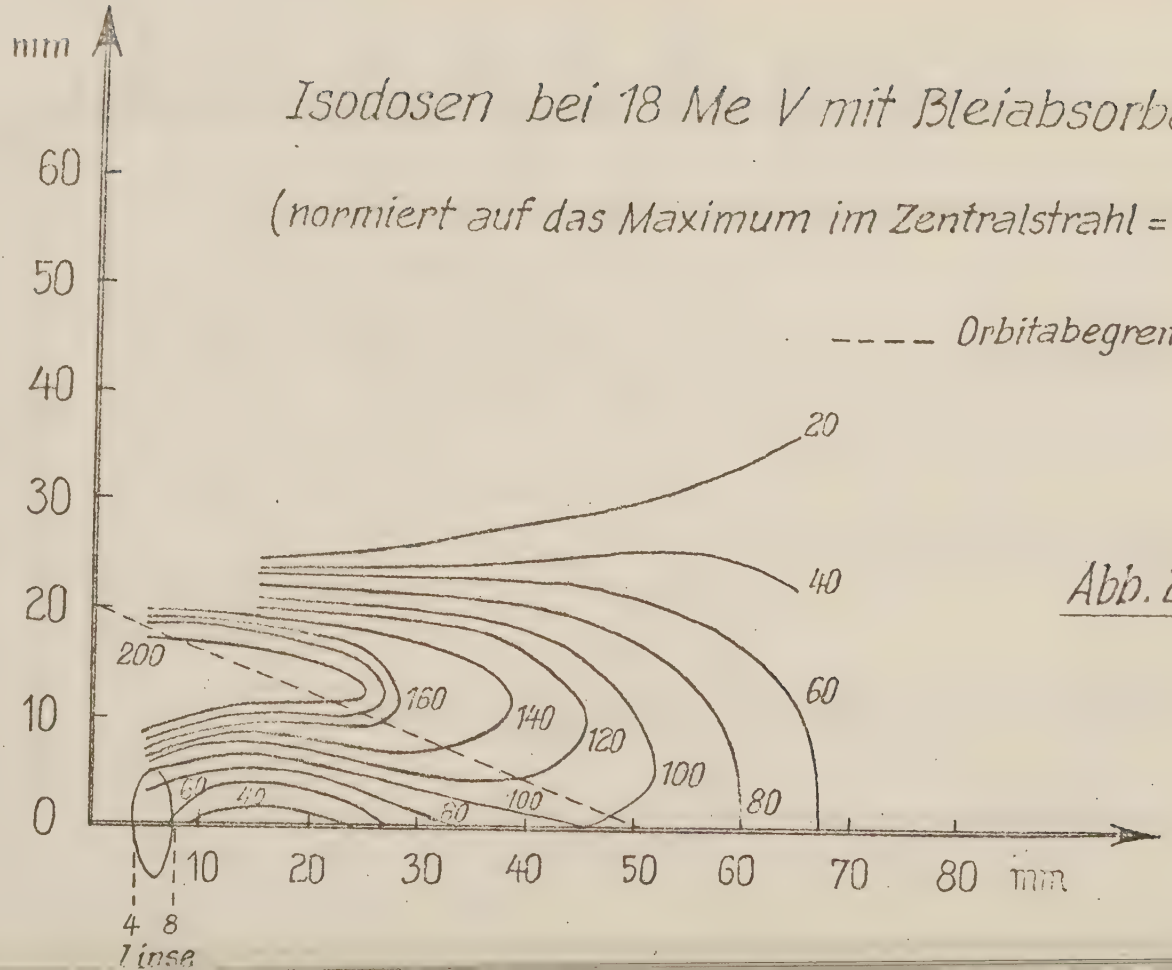

Isodosen bei 18 Me V mit Bleiabsorber
(normiert auf das Maximum im Zentralstrahl = 100 %)
---- Orbitabegrenzung
mm
60
50
40
30
20
10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
mm
4
8
Linse
200
160
140
120
100
80
60
40
20
60
40
80
100

Abb. 29

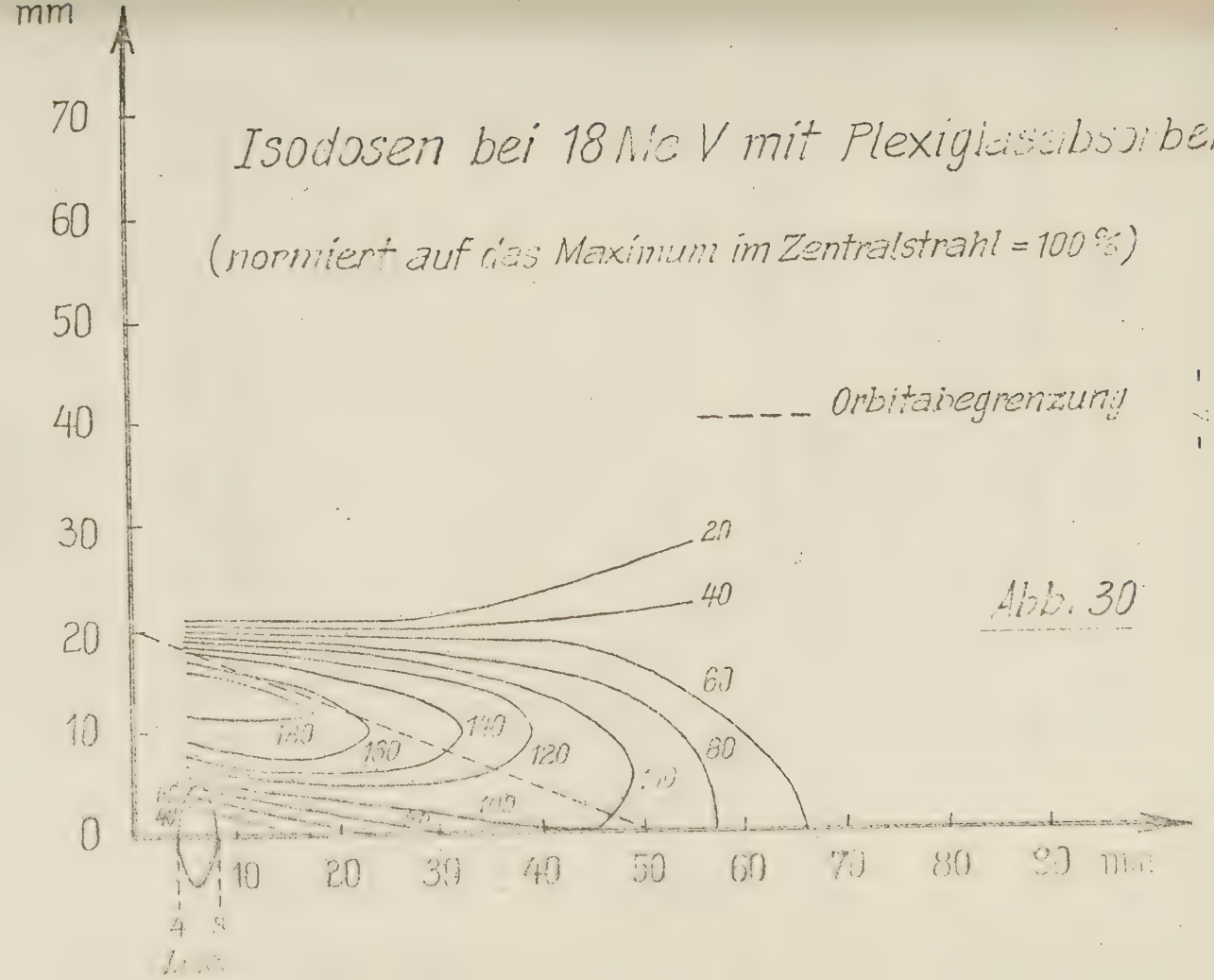

mm
70
60
50
40
30
20
10
0
Isodosen bei 18 Mc V mit Plexiglasabsorber
(normiert auf das Maximum im Zentralstrahl = 100 %)
Orbitabegrenzung
20
40
60
80
120
140
160
180
10
20
30
40
50
60
70
80
90
mm

Abb. 30

Seitlicher Dosisabfall
bei 12 MeV mit Bleiabsorber
in den Ebenen $x = 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65$ mm

(normiert auf den Höchstwert
der ermittelten Ionendosis)

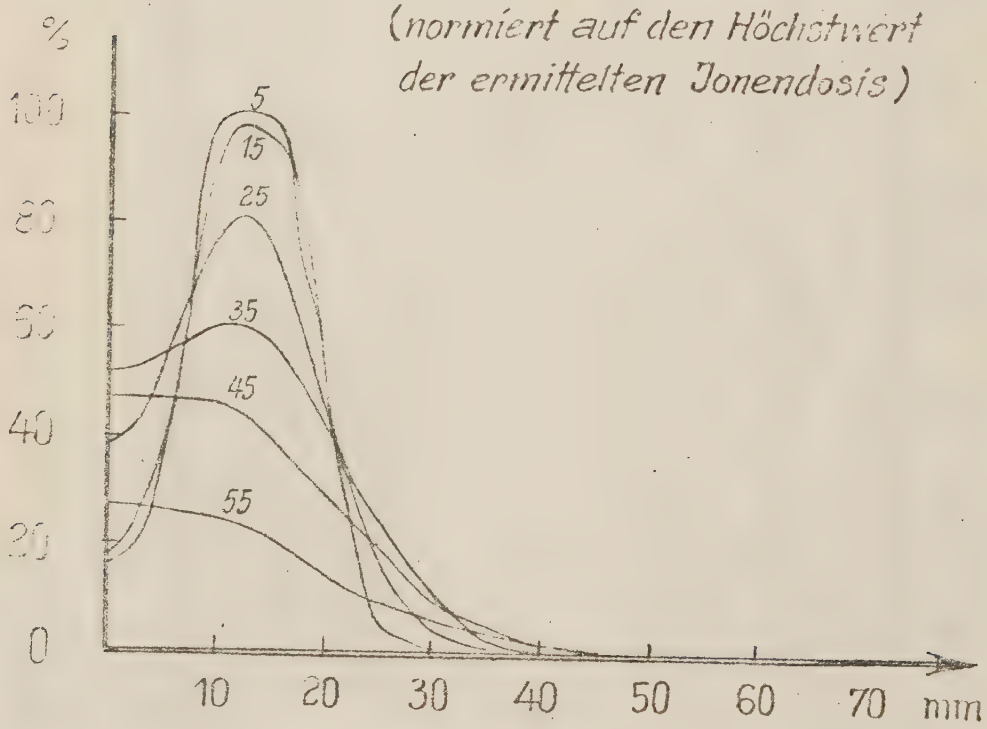


Abb. 31

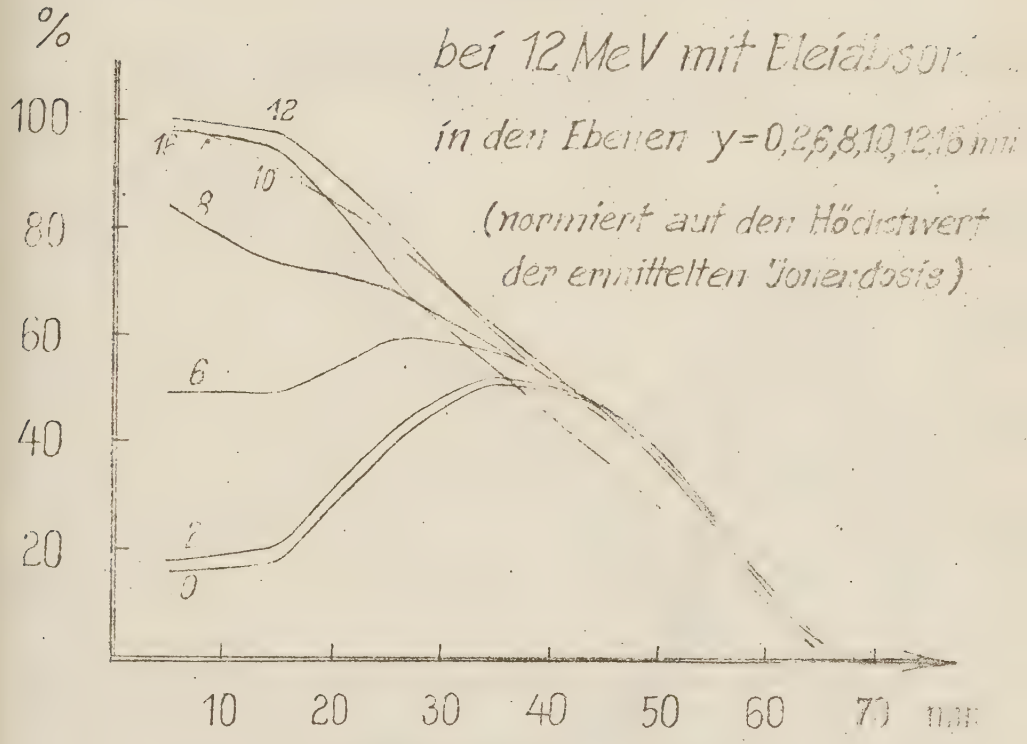

Tiefendosiskurve
bei 12 MeV mit Bleiabsor
in den Ebenen y=0,2,6,8,10,12,16 mm
(normiert auf den Höchstwert
der ermittelten Ionendosis)
%
100
80
60
40
20
12
10
8
6
2
0
10
20
30
40
50
60
70
mm

Abb. 32

Seitlicher Dosisabfall
bei 12 MeV mit Plexiglasabsorber

in den Ebenen $x = 5, 15, 25, 35, 45, 55$ mm

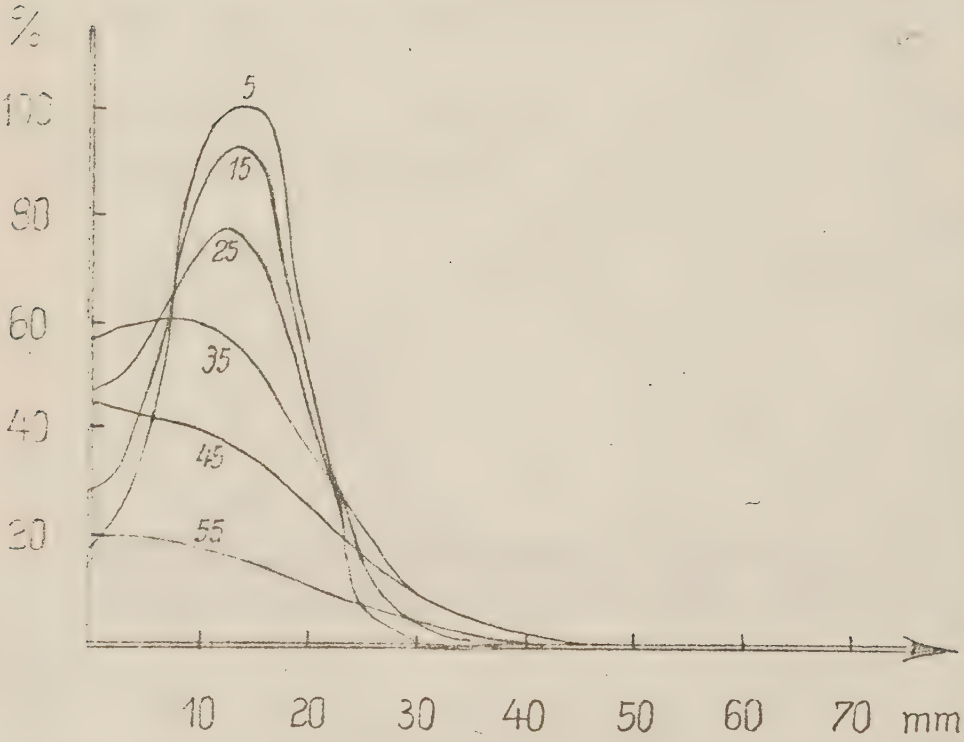


Abb. 33

Tiefendosiskurven
bei 12 MeV mit Plexiglasabsorber
Abfall im Zentralstrahl
und in den Ebenen

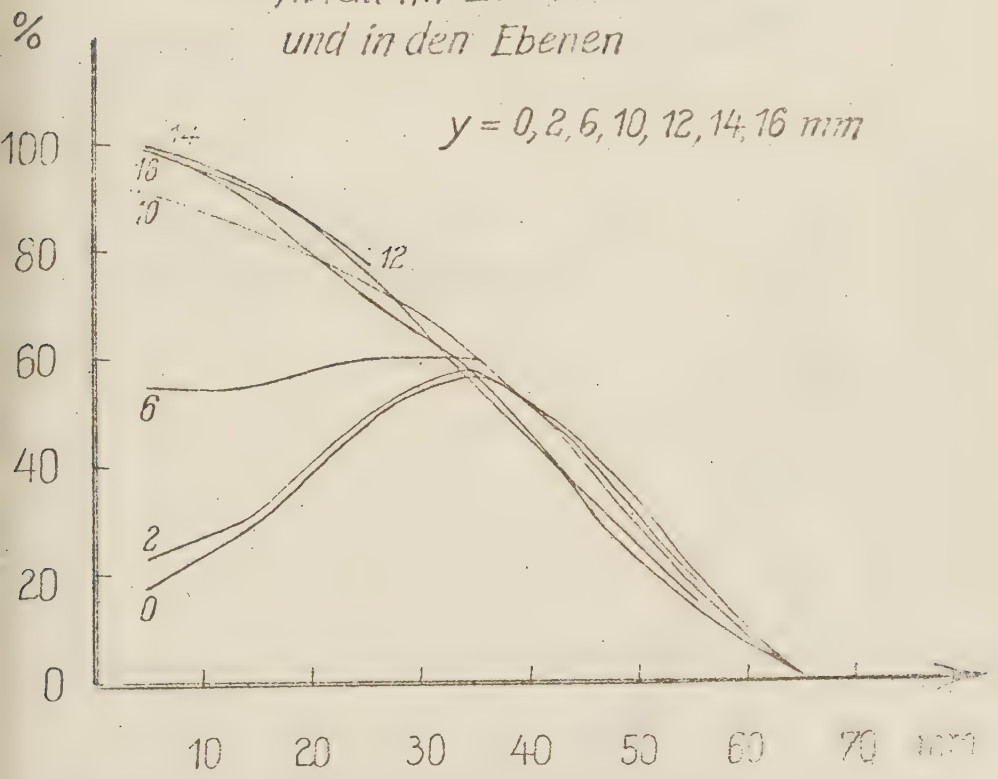


Abb. 34

Seitlicher Dosisabfall bei 18 MeV mit Bleiabsorber

in den Ebenen $x = 5, 15, 25, 35, 45, 55$ mm

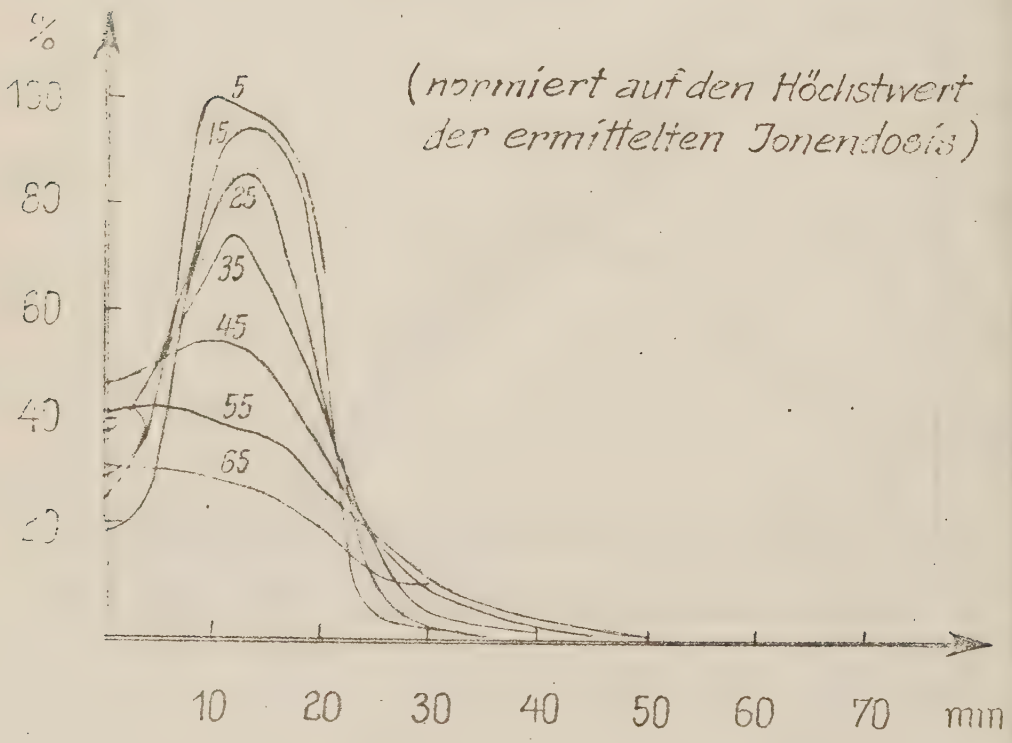


Abb. 35

Tiefendosiskurven

bei 18 MeV mit Bleiabsorber

y = 0, 2, 6, 8, 10, 14 mm

(normiert auf den Höchstwert der ermittelten Jonendosis)

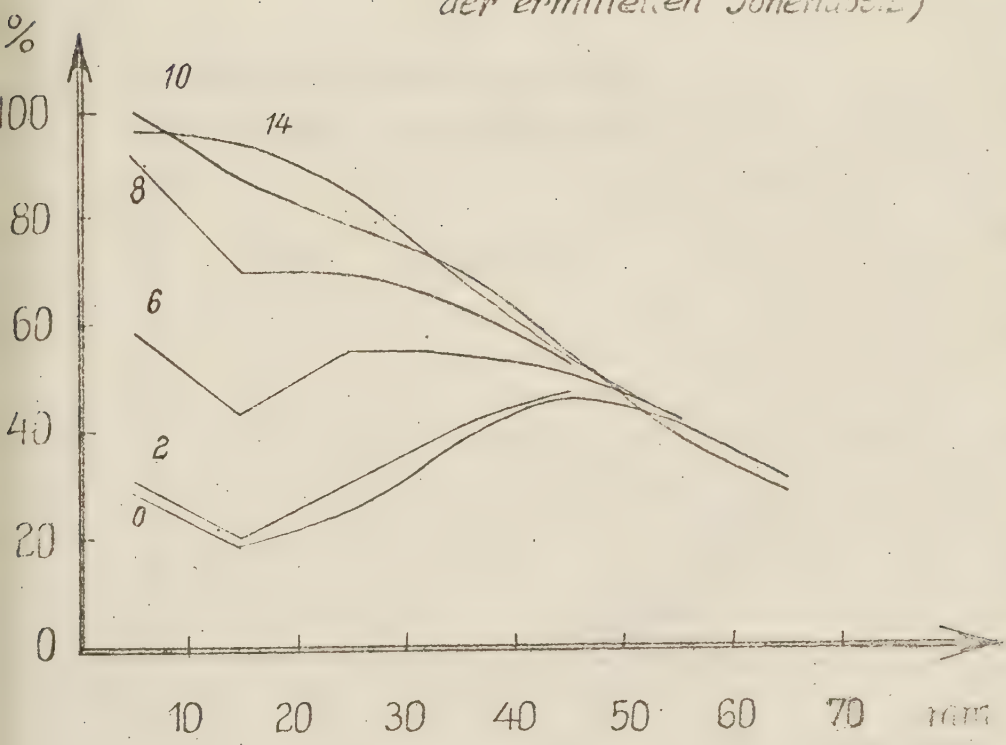


Abb. 36

Seitlicher Dosisabfall bei 18 Me V mit Plexiglasabsorber

in den Ebenen $x = 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65$ mm

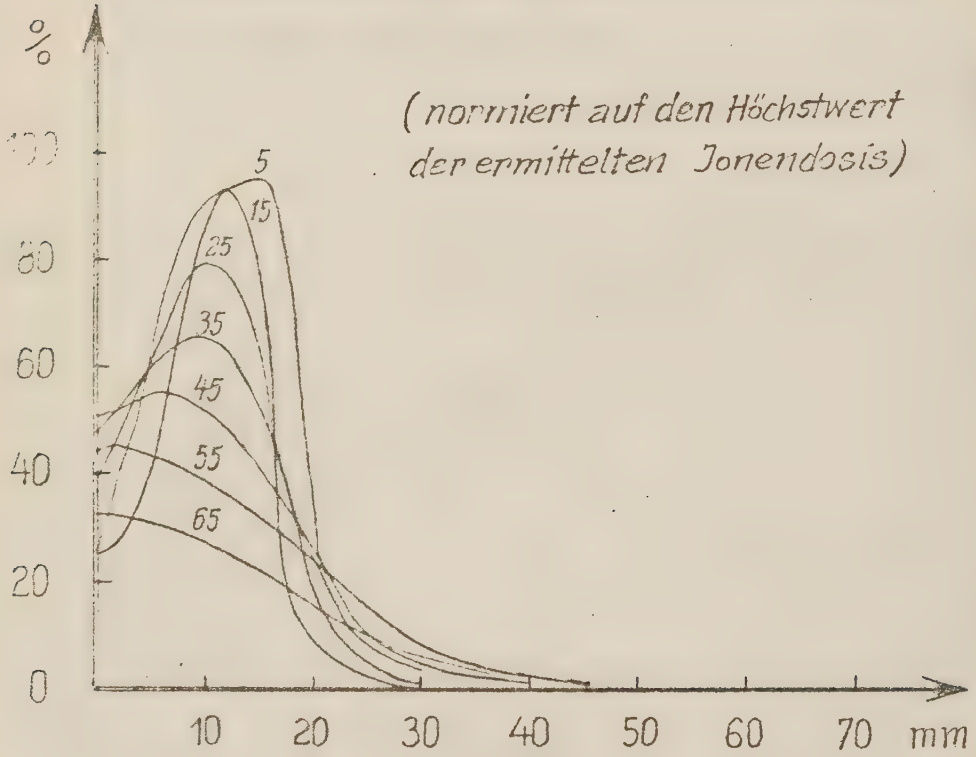


Abb. 37

Tiefendosiskurve

bei 18 Me V mit Plexiglasabsorber

in den Ebenen y = 0, 2, 10, 12 mm

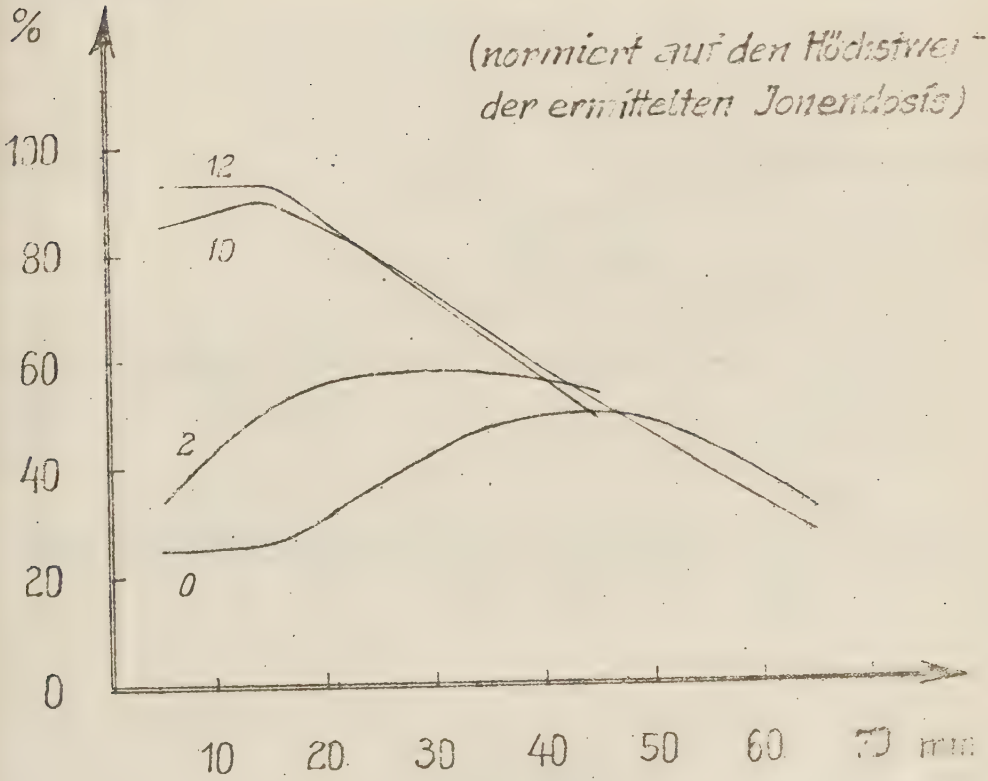


Abb. 38

Isodosen

bei 12 MeV mit Bleiabsorber

(normiert auf das Maximum der ermittelten Jonendosis)

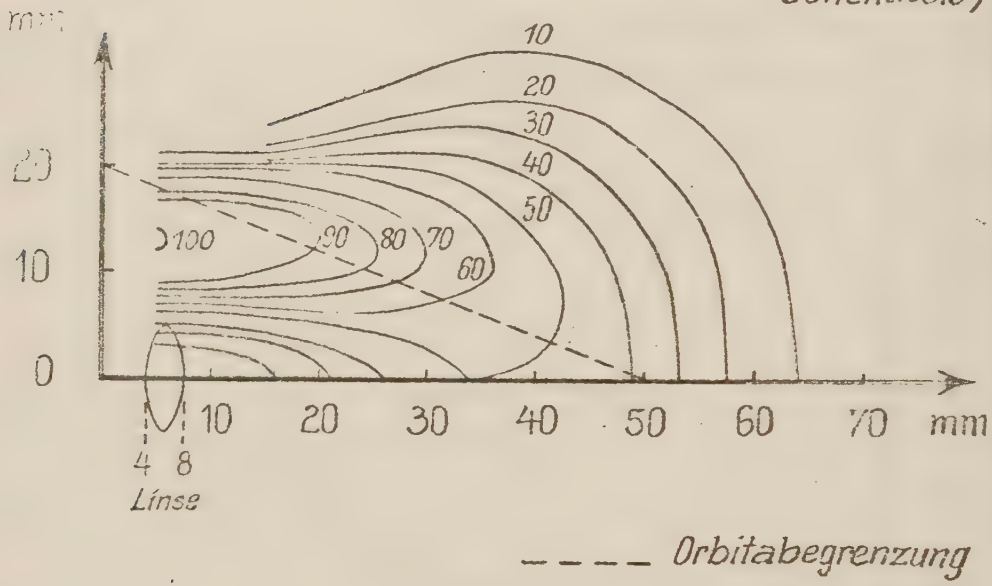


Abb. 39

Isodosen

bei 12 MeV mit Plexiglasab[illegible]

(normiert auf das Maximum der ermittelten Ionendosis)

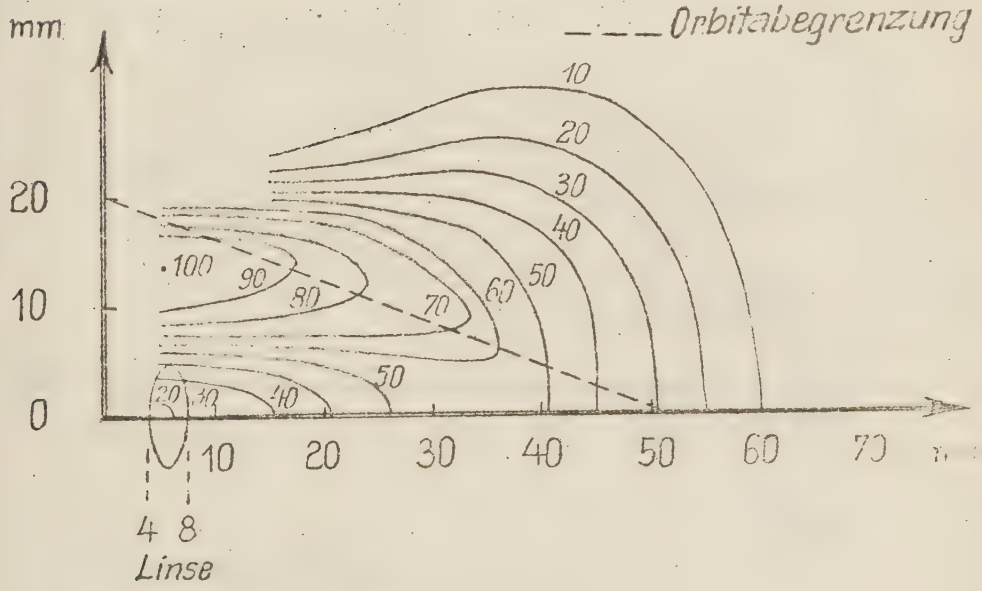


Abb. 40

Isodosen
bei 18 MeV mit Bleiabsorber

(normiert auf das Maximum der ermittelten Ionendosis)

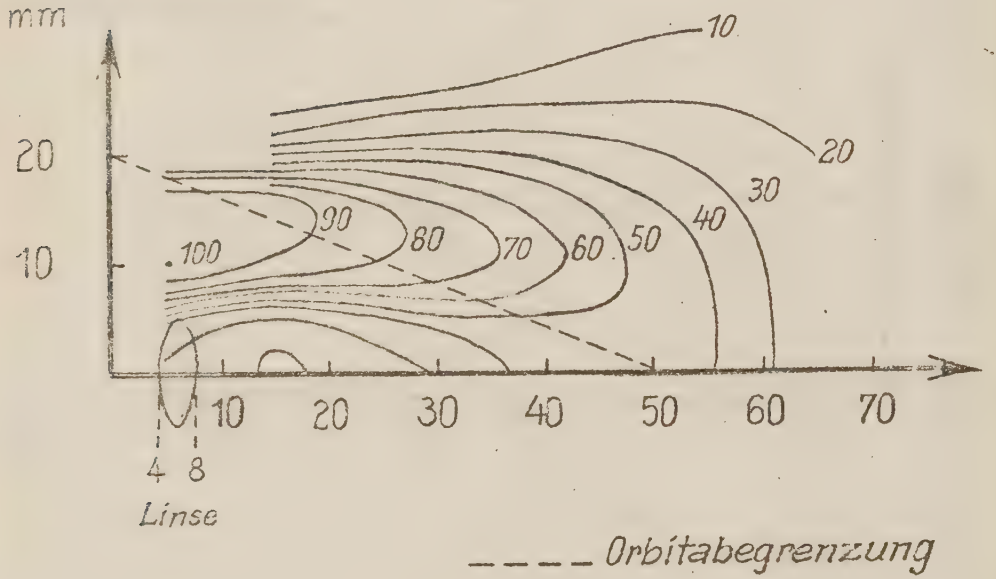


Abb. 41

Isodosen
bei 18 MeV mit Plexiglasabsorber

(normiert auf das Maximum der ermittelten Ionendosis)

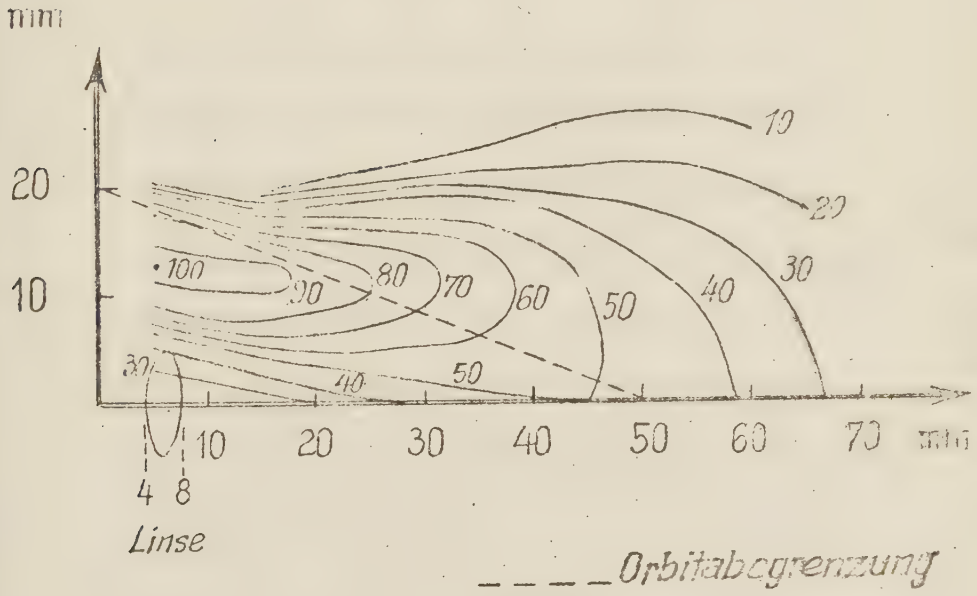


Abb. 42

V Diskussion

Aus den Messungen geht hervor, daß bei Anwendung einer Strahlung von 12 wie 18 MeV e^- ohne einen Absorber die Linse des Auges die volle Strahlendosis erhält.

Unter Verwendung eines Bleiabsorbers zur Schonung der Linse bei Bestrahlung mit 12 MeV e^- beträgt die Linsenbelastung bis 30 % , wobei die Dosis im Randgebiet höher ist als im Zentralstrahl. Wird als Absorbermaterial Plexiglas verwendet, beträgt die Linsenbelastung ebenfalls 30 % . Zum Zentralstrahl hin ist die Belastung der Linse jedoch ungünstiger als beim Bleiabsorber. Bei einer Bestrahlung von 18 MeV e^- ändern sich die Verhältnisse wesentlich. Unter der Bleiabdeckung beträgt die Dosis im mittleren Linsenbereich 30 - 40 % , während beim Plexiglasabsorber die Linse lediglich im Randgebiet 30 - 40 % erhält, zum Zentralstrahl hin fällt die Dosis jedoch er-

heblich ab.

Außerhalb der Linse im vorderen Augenbereich und im vorderen Anteil der Orbita steigt die Dosis sowohl bei 12 wie 18 MeV e^- steil bis auf 100 % an. Dabei spielt es keine Rolle ob ein Blei oder Plexiglasabsorber verwendet wird. Bei Anwendung des Plexiglasabsorbers sowohl bei 12 wie 18 MeV e^- - also im vorderen Augenbereich - entsprechen die Isodosen denen bei Verwendung eines Bleiabsorbers.

Aus den Messungen geht hervor, daß hinter der Linse die Strahlenbelastung des Auges unter Bleiabdeckung bei 12 MeV e^- wieder zunimmt und zwar derart, daß die Dosis vom Zentralstrahl nach der Seite hin schnell bis 90 % ansteigt. Bei 18 MeV e^- sind die Verhältnisse ähnlich, lediglich im Zentralstrahl liegt eine Belastung von 30 % vor. Bei Plexiglas ist die Strahlenbelastung des hinteren Augenabschnittes sowohl bei 12 wie 18 MeV e^- höher als bei

Bleiabdeckung.

Der hintere Orbitaabschnitt wird bei beiden Energien unter Plexiglasabdeckung besser ausgestrahlt als unter Bleiabdeckung. Bei allen Versuchsanordnungen ist die Strahlenbelastung des Knochens im vorderen Teil der Orbita hoch. Sie beträgt 90 % und fällt nach hinten langsam ab.

Überträgt man diese Ergebnisse auf die Praxis der Strahlentherapie, so wären folgende Schlüsse zu ziehen.

1. Der beste Strahlenschutz der Linse ist bei einer 18 MeV Elektronenstrahlung unter Verwendung eines Plexiglasabsorbers gewährleistet. Ein Problem stellt die Fixierung des Auges während der Bestrahlung dar. Es ist sehr fraglich, ob es möglich ist, für die Dauer der Bestrahlung das Auge so zu fixieren, daß die Linse stets vom Absorber abgedeckt ist.

2. Wollte man einen Tumor mit Sitz im hinteren Augenbereich unter oben angegebenen Bedingungen bestrahlen, so wäre mindestens eine Herddosis von 6000 R erforderlich. Bei dieser Dosis würde die Linse noch 3000 R erhalten. Das würde bedeuten, daß an der Linse unweigerlich ein Strahlenschaden mit Kataraktbildung auftritt.
3. Bei retrobulbär gelegenen Tumoren liegen die Verhältnisse noch ungünstiger, da die Dosis nach der Tiefe zu weiter abfällt. Selbst dann, wenn man ein zusätzliches seitliches Schrägfeld anlegen würde, wäre die Dosis an der Linse noch so hoch, daß eine Schädigung kaum zu vermeiden wäre.
4. Bei den gegebenen Bedingungen war es nicht möglich eine Bestrahlungsmethode zu entwickeln, die eine weitgehende Schonung der Linse gewährleistet.

VI Zusammenfassung

Nach einer kurzen Einleitung wird an Hand der Literatur auf die Strahlenempfindlichkeit der Linse eingegangen. Es wird festgestellt, daß die Linse der empfindlichste Teil des Auges darstellt. Auf diese Empfindlichkeit muß bei allen Bestrahlungsmethoden im Bereich des Auges Rücksicht genommen werden.

Die bisherigen Bestrahlungsmethoden der Tiefen- und Halbtiefentherapie, der Nahbestrahlung, sowie der radioaktiven Substanzen werden aufgezeigt und besonders auf die Strahlenbelastung der Linse verwiesen. Schließlich wird eine besondere Bestrahlungsmethode, die erstmals von BECKER und BAUM zur Anwendung kam, beschrieben. Diese Autoren verwandten schnelle Elektronen.

In eigenen Messungen am 42 MeV Betatron wurde geprüft, ob es möglich ist, eine Bestrahlungsmethode

am Auge zu entwickeln, die eine maximale Schonung der Linse gewährleistet.

In umfangreichen Messungen wurde festgestellt, daß der beste Schutz der Linse bei einer 18 MeV Elektronenstrahlung unter Verwendung eines Plexiglasabsorbers erreicht wird.

Die Messungen ergeben aber, daß bei Tumoren im hinteren Augenbereich sowie bei retrobulbär gelegenen Tumoren selbst bei einer Bestrahlung aus zwei Richtungen eine Strahlenbelastung der Linse in einer Höhe zu erwarten ist, die eine Schädigung nicht ausschließt.

Eine effektive Tumortherapie im Bereich der Orbita, die eine Kataraktbildung vermeidet, ist daher kaum möglich.

VII Literatur

ALTER R.J., LEINFELDER P.J.

Roentgenray cataract.

Arch. Ophthal. 49, 257-260 (1953)

BACLESSE F., DOLFUS M.A.

Le traitement roentgenthérapique des cancers palpébraux.

J. Radiol. Electrol. 39, 832-840 (1958)

BECKER J., BAUM F.A.

Der Schutz der Augenlinse bei Bestrahlung intraorbitaler Tumoren.

Strahlentherapie 113, 351-355 (1960)

BELLETTI S., TUNESI G.

Possibilita' di impiego degli electroni veloci nella cura di offezioni del globo oculare e del cavo orbitario.

Radiazioni di alta energia 9, 3-14 (1970)

BIRCH-HIRSCHFELD A.

Die Wirkung der Röntgen und Radium-

strahlen auf das Auge.

v. Graefes Arch. Ophthal. 59, 229 (1904)

v. BRAUNBEHRENS' H.

Die Strahlenbehandlung des Auges und

seiner Umgebung.

In MEYER H., MATTHES K.

Die Strahlentherapie

Stuttgart Georg Thieme 1949

CHALUPECKY H.

Über die Wirkung verschiedener Strahlungen

auf das Auge.

Strahlentherapie 8, 114 (1918)

COGAN D.G., DREISLER K.K.

Minimal amount of X-Ray exposure

causing lens opacities in the human eye.

Arch. Ophthal. 50, 30-34 (1953)

EHLING U., KROKOWSKI E.

Schäden durch Röntgenstrahlen am Kaninchenauge in Abhängigkeit von Dosis und Strahlenqualität.

Fortschr. Röntgenstr. 86, 469-477 (1957)

FLASKAMP W.

Über Röntgenschäden und Schäden durch radioaktive Substanzen.

Strahlentherapie Sonderband XII (1930)

HAM W.T.

Radiation cataract.

Arch. Ophthal. 50, 618- 643 (1953)

HULTBERG S., WALSTAM R., ÅSARD P.E.

Two special applications of high energy electron beams.

Acta radiol. therapy 3, 287-295 (1965)

KROKOWSKI E.

Strahlengefährdung der Augenlinse.

Strahlenschutz in Forschung und Praxis 6, 185-197 (1966)

KROKOWSKI E., EHLING U.

Wachstumshemmung der Linse am röntgenbestrahlten Kaninchenauge.

Fortschr. Röntgenstr. 87, 222-225 (1957)

LEDERMANN M.

Technique of Radiation treatment of orbital tumors.

Brit. J. Radiol. 30, 469-476 (1957)

MERRIAM G.R., FOCHT E.

A clinical study of radiation cataracts and the relationship to dose.

Am. J. Roentgenol. 77, 759-785 (1957)

PETER L.

Studien zur experimentellen Röntgen - und Radiumkatarakt.

v. Graefes Arch. Ophthal. 125, 428-462 (1930)

POLITZER G.

Experimentelle Untersuchungen zur Entstehung der Röntgenkatarakt.

v. Graefes. Arch. Ophthal. 157, 459-472 (1955/56)

POLITZER G.

Röntgenstrahlen und Regeneration.

Radiol. Austriaca 5, 147-158 (1952)

ROHRSCHNEIDER W.

Experimentelle Untersuchungen über die Veränderungen normaler Augengewebe nach Röntgenbestrahlung.

v. Graefes Arch. Ophthal. 121, 526-559 (1929)

ROHRSCHNEIDER W.

Über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Auge.

Strahlentherapie 38, 665-683 (1930)

ROHRSCHNEIDER W., GLAUNER R.

Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der fraktionierten und der protrahiert-fraktionierten Röntgenbestrahlung auf die Linse des Kaninchenauges.

v. Graefes Arch. Ophthal. 140, 700-708 (1939)

SCHERER E.

Strahlentherapie

Stuttgart Georg Thieme 1967

WACHTLER F.

Über Strahlenreaktionen und Strahlenläsionen des Auges.

wien klin. wschr. 73, 894-896 (1961)

Lebenslauf

Am 28.11.1944 wurde ich, Arno Högel, als Sohn des Kaufmannes Werner Högel und seiner Ehefrau Ilse Högel geb. Zeitz in Quierschied/Saar geboren. Von 1951 - 55 besuchte ich die Volksschule und anschließend das Realgymnasium Sulzbach. Nach der Reifeprüfung studierte ich an der Universität des Saarlandes zunächst 1 Semester Mathematik und Physik und anschließend Medizin. 1968 legte ich das Vorphysikum, 1970 das Physikum ab. Nach dem Sommersemester 1973 gedenke ich das Studium mit dem Staatsexamen abzuschließen.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. F. Sommer, Direktor des Strahleninstitutes, danke ich für die Überlassung des Themas. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. Leetz und Herrn Oberarzt Dr. Schmidt-Hermes für die wertvollen Ratschläge bei der Durchführung der Arbeit.